



Trabajo Fin de Máster

Máster en Ingeniería Naval y Oceánica

**Análisis de la centralidad portuaria, flujos
de navegación e impacto ambiental del
mercado de cruceros europeo**

Por

Manuel del Río González

Marzo 2021

Director: Dr. D. Jerónimo Antonio Esteve Pérez



Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y Oceánica

Índice de Contenidos

Índice de contenidos	I
Índice de figuras	IV
Índice de tablas	XII
Agradecimientos	1
Introducción y objetivos	3
1. La industria de cruceros	7
1.1. La industria de cruceros	7
1.1.1. El producto de crucero	7
1.1.2. Zonas de operación de los cruceros	8
1.1.3. Segmentación de mercados de cruceros	11
1.2. Análisis de redes sociales aplicada a puertos de cruceros	12
1.3. Impacto ambiental de la actividad crucerista	13
2. Teoría de Redes	15
2.1. Terminología y tipos de grafos	18
2.1.1. Terminología	18
2.1.2. Tipos de grafos	19
2.1.3. Atributos de los grafos	20

2.2. Algoritmos	22
2.3. Teoría de Redes Sociales	25
2.3.1. Métricas a nivel de nodo	26
2.3.2. Métricas a nivel de red	27
3. Contaminación atmosférica en la industria del transporte marítimo.	31
3.1. Medidas internacionales	32
3.2. Estrategias para la disminución de emisiones	32
3.2.1. Estrategias tecnológicas	33
3.2.2. Estrategias operacionales	39
3.2.3. Estrategias basadas en el mercado	39
4. Materiales y métodos	41
4.1. Recolección y tratamiento de datos	41
4.1.1. Base de datos portuarios del mercado de cruceros Europeo	41
4.1.2. Base de datos de los buques de crucero	44
4.1.3. Tratamiento de los datos	44
4.1.4. Conversión matricial de los datos	49
4.2. Análisis de patrones de navegación en el mercado de cruceros europeo	50
4.2.1. Grafos y métricas de redes sociales	50
4.2.2. Métrica de centralidad <i>hubs</i> y autoridades	51
4.3. Impacto ambiental de los cruceros del Mediterráneo Occidental.	53
4.3.1. Modelo de estimación de potencia	54
4.3.2. Estimación de las emisiones en el Mediterráneo Occidental	58
5. Resultados y discusión	61
5.1. Tendencias y patrones del mercado de cruceros europeo	62

5.1.1. Mercado de cruceros global	62
5.1.2. Segmento <i>Budget</i>	100
5.1.3. Segmento <i>Contemporary</i>	115
5.1.4. Segmento <i>Premium</i>	129
5.1.5. Segmento <i>Upper premium</i>	143
5.1.6. Segmento Lujo.	155
5.1.7. Segmento de expedición.	168
5.2. Impacto medioambiental de la industria de cruceros en el Mediterráneo Occidental .	181
5.2.1. Reducción de NO _x	183
5.2.2. Reducción de SO _x	184
Conclusión	187
Bibliografía	193

Índice de Figuras

1.1. Los tres elementos básicos del producto de crucero [1].	8
1.2. Número de pasajeros por zonas (en miles) durante 2018 [2].	10
2.1. Red de transporte aéreo, donde se puede apreciar la estructura de <i>hub and spoke</i> . Esta morfología de red afecta a cómo se desarrolla el flujo de transporte aéreo [3].	15
2.2. La comunidad <i>gaming</i> presenta una concentración clara de audiencia [4].	16
2.3. Las redes de los sistemas reales presentan una clara tendencia de <i>clusterización</i> o acumulación, pues unos pocos nodos poseen muchas conexiones siguiendo una distribución potencial (<i>Power-Law Distribution</i>). Una red que suponga una distribución media de conexiones da como resultado una red aleatoria y que apenas se observan en la realidad [4].	17
2.4. Grafo etiquetado con diversas propiedades, una forma muy flexible de representar datos conectados [4].	18
2.5. Representación de los tres tipos de grafos: simple (izquierda), multigrafo (centro) pseudografo (derecha) [4].	19
2.6. Representación de las tres principales estructuras de los grafos: aleatorio (izquierda), <i>small-world</i> (centro) y <i>scalefree</i> (derecha) [4].	20
2.7. Grafo conectado (izquierda). Grafo desconectado, en este caso está compuesto por tres <i>clusters</i> (derecha) [4].	20
2.8. Grafo no ponderado (izquierda). Grafo ponderado, en este caso tanto los nodos como las relaciones entre éstos se encuentran ponderadas (derecha) [4].	21
2.9. Grafo con conexiones adireccionales (izquierda). Grafo direccional (derecha) [4]. . .	21
2.10. Grafos no cíclicos direccional y no direccional (Grafo 1 y 2 respectivamente). Grafos cíclicos direccional y no direccional (Grafo 3 y 4 respectivamente) [4].	22
2.11. Grafo de árbol con raíces (izquierda). Grafo de árbol binario (derecha) [4].	22

2.12. Representación esquemática de los algoritmos: <i>Shortest Path</i> , <i>All-Pairs Shortest Paths</i> , <i>Single Source Shortes Path</i> y <i>Minimum Spanning Tree</i> (de izquierda a derecha respectivamente) [4].	23
2.13. <i>Random Walk</i> , en este caso el ordenador va explorando distintas rutas y evaluando la más óptima [4].	23
2.14. Representación esquemática de los dos algoritmos, de contador de triángulos y coeficiente de <i>cluster</i> (izquierda). Representación esquemática del algoritmo <i>Connected Components</i> (derecha) [4].	24
2.15. Representación esquemática del algoritmo de <i>Label Propagation</i> [4].	25
2.16. Representación esquemática del algoritmo de modularidad de Luvain [4].	25
2.17. Representación esquemática de los distintos conceptos de: grado de centralidad, intermediación y cercanía [4].	27
2.18. Grafo disperso (izquierda), denso (centro) y completo (derecha) [4].	28
3.1. Esquema general de funcionamiento de un motor diésel lento, y gases de exhaustación que genera [5].	31
3.2. Millones de toneladas métricas CO ₂ emitido a la atmósfera (izquierda). Consumo de millones de toneladas métricas de fuel [6]	34
3.3. Comparativa de los millones de toneladas métricas de gases procedentes de la combustión del fuel emitidos a la atmósfera por distintos medios de transporte [6]. . .	34
3.4. Esquema del funcionamiento del método SCR para reducir las emisiones de NO _x de los buques [7].	36
3.5. Esquema de funcionamiento de un <i>scrubber</i> abierto [8].	38
3.6. Esquema de funcionamiento de un <i>scrubber</i> cerrado [8].	38
4.1. Primeras escalas del 2019 para el puerto de Amsterdam.	41
4.2. Tabla de escalas del puerto de Gibraltar. En la parte superior derecha se aprecia el símbolo de imprimir (descargar). Para cada escala existe un botón de '+', donde aparece el resto de información [9].	43
4.3. Tabla de escalas del puerto de Livorno. Se puede apreciar el calendario en la parte superior izquierda, y que por cada día del año existe una tabla que recoge la información de la escala [10].	44

4.4. Diagrama de flujo del programa que corrige el nombre de los puertos procedentes de las distintas escalas que se encuentran en la base de datos del apartado 4.1.1. Los cuadros amarillos indican las acciones y decisiones que ha de hacer y tomar el usuario respectivamente.	47
4.5. Diagrama de flujo del programa que corrige el nombre de los cruceros para las distintas escalas que se encuentran en la base de datos del apartado 4.1.1. Los cuadros amarillos indican las decisiones que ha de tomar el usuario.	48
4.6. Centralidad de autoridad y de <i>hub</i> en una red. A actúa como <i>hub</i> (izquierda), B actúa como autoridad (centro) y C, D, E actúan como <i>hubs</i> y autoridades (derecha) [11]. .	52
4.7. Esquema con el procedimiento de trabajo aplicado en el estudio.	53
4.8. Regresiones que usan relaciones de distintos parámetros como variables explicativas. .	56
4.9. Regresiones del potencia y la eslora lineal (a) y polinómica de grado 2 (b) y 3 (c). . .	57
4.10. Regresiones que usan como variables explicativas la eslora (a) y el arqueo bruto (b). .	57
4.11. Regresiones del arqueo bruto y la eslora lineal (a) y polinómica de grado 2 (b). . . .	58
4.12. Gráfica ue muestra el porcentaje de trayectos y conexiones para las distintas relaciones entre puertos del Mediterráneo Occidental.	59
4.13. Grafo del Mediterráneo Occidental donde sólo se muestran los puertos con conexiones con un número de trayectos mayor de 10. El grosor de las líneas muestra la importancia de las relaciones.	60
5.1. Métricas globales del mercado de cruceros europeo.	62
5.2. Grado de centralización global, saliente y entrante.	63
5.3. Transformación del flujo de cruceros iniciado por los puertos más importantes según esta métrica.	64
5.4. Transformación del flujo de cruceros recibidos por los puertos más importantes según esta métrica.	65
5.5. Transformación del grado de centralización entrante por los puertos más importantes según esta métrica.	66
5.6. Transformación del grado de centralización saliente por los puertos más importantes según esta métrica.	67
5.7. Transformación del grado de centralización entrante normalizado por los puertos más importantes según esta métrica.	68

5.8. Transformación del grado de centralización saliente normalizado por los puertos más importantes según esta métrica.	69
5.9. Transformación del grado de intermediación de los puertos más importantes según esta métrica.	69
5.10. Transformación del índice <i>hub</i> de los puertos más importantes según esta métrica. . .	70
5.11. Grafo del tráfico de cruceros en el Norte de Europa para el año 2015. Las líneas de .	74
5.12. Grafo del tráfico de cruceros en el Norte de Europa para el año 2016	75
5.13. Grafo del tráfico de cruceros en el Norte de Europa para el año 2017	76
5.14. Grafo del tráfico de cruceros en el Norte de Europa para el año 2018	77
5.15. Grafo del tráfico de cruceros en el Norte de Europa para el año 2019	78
5.16. Grafo del tráfico de cruceros en el Océano Atlántico para el año 2015	81
5.17. Grafo del tráfico de cruceros en el Océano Atlántico para el año 2016	82
5.18. Grafo del tráfico de cruceros en el Océano Atlántico para el año 2017	83
5.19. Grafo del tráfico de cruceros en el Océano Atlántico para el año 2018	84
5.20. Grafo del tráfico de cruceros en el Océano Atlántico para el año 2019	85
5.21. Grafo del tráfico de cruceros en el Mediterráneo Oriental para el año 2015	88
5.22. Grafo del tráfico de cruceros en el Mediterráneo Oriental para el año 2016	89
5.23. Grafo del tráfico de cruceros en el Mediterráneo Oriental para el año 2017	90
5.24. Grafo del tráfico de cruceros en el Mediterráneo Oriental para el año 2018	91
5.25. Grafo del tráfico de cruceros en el Mediterráneo Oriental para el año 2019	92
5.26. Grafo del tráfico de cruceros en el Mediterráneo Occidental para el año 2015	95
5.27. Grafo del tráfico de cruceros en el Mediterráneo Occidental para el año 2016	96
5.28. Grafo del tráfico de cruceros en el Mediterráneo Occidental para el año 2017	97
5.29. Grafo del tráfico de cruceros en el Mediterráneo Occidental para el año 2018	98
5.30. Grafo del tráfico de cruceros en el Mediterráneo Occidental para el año 2019	99
5.31. Métricas globales del mercado de cruceros europeo del segmento <i>Budget</i>	100

5.32. Grado de centralización global, saliente y entrante para el segmento <i>Budget</i>	101
5.33. Flujo iniciado del mercado europeo de cruceros para los puertos más relevantes del segmento <i>Budget</i>	101
5.34. Flujo recibido del mercado europeo de cruceros para los puertos más relevantes del segmento <i>Budget</i>	102
5.35. Grado de centralización entrante de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento <i>Budget</i>	104
5.36. Grado de centralización saliente de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento <i>Budget</i>	104
5.37. Grado de intermediación de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento <i>Budget</i>	106
5.38. Índice <i>Hub</i> de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento <i>Budget</i>	107
5.39. Grafo del tráfico de cruceros del segmento <i>Budget</i> en el año 2015	110
5.40. Grafo del tráfico de cruceros del segmento <i>Budget</i> en el año 2016	111
5.41. Grafo del tráfico de cruceros del segmento <i>Budget</i> en el año 2017	112
5.42. Grafo del tráfico de cruceros del segmento <i>Budget</i> en el año 2018	113
5.43. Grafo del tráfico de cruceros del segmento <i>Budget</i> en el año 2019	114
5.44. Métricas globales del mercado de cruceros europeo del segmento <i>Contemporary</i> . . .	115
5.45. Grado de centralización global, saliente y entrante para el segmento <i>contemporary</i> . .	116
5.46. Flujo iniciado del mercado europeo de cruceros para los puertos más relevantes del segmento <i>Contemporary</i>	116
5.47. Flujo recibido del mercado europeo de cruceros para los puertos más relevantes del segmento <i>Contemporary</i>	117
5.48. Grado de centralización entrante de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento <i>Contemporary</i>	119
5.49. Grado de centralización saliente de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento <i>Contemporary</i>	119
5.50. Grado de intermediación de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento <i>contemporary</i>	121

5.51. Índice <i>hub</i> de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento <i>contemporary</i>	122
5.52. Grafo del tráfico de cruceros del segmento <i>Contemporary</i> en el año 2015	124
5.53. Grafo del tráfico de cruceros del segmento <i>Contemporary</i> en el año 2016	125
5.54. Grafo del tráfico de cruceros del segmento <i>Contemporary</i> en el año 2017	126
5.55. Grafo del tráfico de cruceros del segmento <i>Contemporary</i> en el año 2018	127
5.56. Grafo del tráfico de cruceros del segmento <i>Contemporary</i> en el año 2019	128
5.57. Métricas globales del mercado de cruceros europeo del segmento <i>premium</i>	129
5.58. Grado de centralización global, saliente y entrante para el segmento <i>premium</i>	130
5.59. Flujo iniciado del mercado europeo de cruceros para los puertos más relevantes del segmento <i>Premium</i>	130
5.60. Flujo recibido del mercado europeo de cruceros para los puertos más relevantes del segmento <i>Premium</i>	131
5.61. Grado de centralización entrante de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento <i>Premium</i>	132
5.62. Grado de centralización saliente de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento <i>Premium</i>	133
5.63. Grado de intermediación de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento <i>Premium</i>	134
5.64. Índice <i>hub</i> de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento <i>Premium</i>	135
5.65. Grafo del tráfico de cruceros del segmento <i>Premium</i> en el año 2015	138
5.66. Grafo del tráfico de cruceros del segmento <i>Premium</i> en el año 2016	139
5.67. Grafo del tráfico de cruceros del segmento <i>Premium</i> en el año 2017	140
5.68. Grafo del tráfico de cruceros del segmento <i>Premium</i> en el año 2018	141
5.69. Grafo del tráfico de cruceros del segmento <i>Premium</i> en el año 2019	142
5.70. Métricas globales del mercado de cruceros europeo del segmento <i>upper premium</i> . . .	143
5.71. Grado de centralización global, saliente y entrante para el segmento <i>upper premium</i> . .	143

5.72. Flujo iniciado del mercado europeo de cruceros para los puertos más relevantes del segmento <i>Upper premium</i>	144
5.73. Flujo recibido del mercado europeo de cruceros para los puertos más relevantes del segmento <i>Upper premium</i>	144
5.74. Grado de centralización entrante de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento <i>Upper premium</i>	146
5.75. Grado de centralización saliente de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento <i>Upper premium</i>	146
5.76. Grado de intermediación de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento <i>Upper premium</i>	147
5.77. Índice <i>hub</i> de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento <i>Upper premium</i>	148
5.78. Grafo del tráfico de cruceros del segmento <i>Upper premium</i> en el año 2015	150
5.79. Grafo del tráfico de cruceros del segmento <i>Upper premium</i> en el año 2016	151
5.80. Grafo del tráfico de cruceros del segmento <i>Upper premium</i> en el año 2017	152
5.81. Grafo del tráfico de cruceros del segmento <i>Upper premium</i> en el año 2018	153
5.82. Grafo del tráfico de cruceros del segmento <i>Upper premium</i> en el año 2019	154
5.83. Métricas globales del mercado de cruceros europeo del segmento de lujo.	155
5.84. Grado de centralización global, saliente y entrante para el segmento de lujo.	155
5.85. Flujo iniciado del mercado europeo de cruceros para los puertos más relevantes del segmento de lujo.	156
5.86. Flujo recibido del mercado europeo de cruceros para los puertos más relevantes del segmento de lujo.	156
5.87. Grado de centralización entrante de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento de lujo.	158
5.88. Grado de centralización saliente de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento de lujo.	158
5.89. Grado de intermediación de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento de Lujo.	159
5.90. Índice <i>hub</i> de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento de lujo.	160

5.91. Grafo del tráfico de cruceros del segmento de lujo en el año 2015	163
5.92. Grafo del tráfico de cruceros del segmento de lujo en el año 2016	164
5.93. Grafo del tráfico de cruceros del segmento de lujo en el año 2017	165
5.94. Grafo del tráfico de cruceros del segmento de lujo en el año 2018	166
5.95. Grafo del tráfico de cruceros del segmento de lujo en el año 2019	167
5.96. Métricas globales del mercado de cruceros europeo del segmento de expedición. . . .	168
5.97. Grado de centralización global, saliente y entrante para el segmento de expedición. .	168
5.98. Flujo iniciado del mercado europeo de cruceros para los puertos más relevantes del segmento de expedición.	169
5.99. Flujo recibido del mercado europeo de cruceros para los puertos más relevantes del segmento de expedición.	169
5.100Grado de centralización entrante de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento de expedición.	171
5.101Grado de centralización saliente de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento de expedición.	171
5.102Grado de intermediación de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento de expedición.	173
5.103Índice <i>hub</i> de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento de expedición.	174
5.104Grafo del tráfico de cruceros del segmento de expedición en el año 2015	176
5.105Grafo del tráfico de cruceros del segmento de expedición en el año 2016	177
5.106Grafo del tráfico de cruceros del segmento de expedición en el año 2017	178
5.107Grafo del tráfico de cruceros del segmento de expedición en el año 2018	179
5.108Grafo del tráfico de cruceros del segmento de expedición en el año 2019	180
5.109Reducción estimada de NO _x según el método que se desee utilizar para este propósito. Las abreviaturas que aparecen indican: RI, retraso de inyección; VA, variación del ángulo de los inyectores; IA, Inyección de agua; Emuls, emulsión y Comb, combinación de uno o más de estos métodos.	184
5.110Reducción estimada de SO _x según el método que se desee utilizar para este propósito.	185

Índice de Tablas

1.1. Evolución del volumen de pasajeros durante los años 2016, 2017 y 2018 en el Norte de Europa [2].	10
1.2. Rangos de valores de las variables significativas para los diferentes segmentos de cruceros.	12
3.1. Estrategias, y principales medidas propuestas para cada una de éstas [12].	33
3.2. Principales métodos de reducción de SO _x y NO _x [13].	33
3.3. Limitación de emisión del NO _x según el MARPOL [14].	35
3.4. Zonas de control de emisiones de SO _x y materia particulada [15]	37
4.1. Matriz de datos utilizada en el trabajo para un año y puerto concreto.	41
5.1. Los 25 puertos con más tráfico iniciado y su flujo durante los años de estudio.	64
5.2. Los 25 puertos con más tráfico recibido y su flujo durante los años de estudio.	65
5.3. Los 25 puertos con mayor grado de centralización entrante durante los años de estudio.	67
5.4. Los 25 puertos con mayor grado de centralización saliente durante los años de estudio.	68
5.5. Los 25 puertos con mayor grado de intermediación durante los años de estudio.	70
5.6. Los 25 puertos con mayor índice <i>hub</i> durante los años de estudio.	71
5.7. Medidas globales de la red interportuaria del tráfico de cruceros en el Norte de Europa.	72
5.8. Medidas globales de la red interportuaria del tráfico de cruceros en el Océano Atlántico.	79
5.9. Medidas globales de la red interportuaria del tráfico de cruceros en el Mediterráneo Oriental.	86

5.10. Medidas globales de la red interportuaria del tráfico de cruceros en el Mediterráneo Occidental.	93
5.11. Los 15 puertos con más tráfico iniciado y su evolución durante los años de estudio para el segmento <i>Budget</i>	102
5.12. Los 15 puertos con más tráfico recibido y su evolución durante los años de estudio para el segmento <i>Budget</i>	103
5.13. Los 15 puertos con mayor grado de centralización entrante y su evolución durante los años de estudio para el segmento <i>Budget</i>	105
5.14. Los 15 puertos con mayor grado de centralización saliente y su evolución durante los años de estudio para el segmento <i>Budget</i>	105
5.15. Los 15 puertos con mayor grado de intermediación y su evolución durante los años de estudio para el segmento <i>Budget</i>	106
5.16. Los 15 puertos con mayor índice <i>hub</i> y su evolución durante los años de estudio para el segmento <i>Budget</i> ,	107
5.17. Los 15 puertos con más tráfico iniciado y su evolución durante los años de estudio para el segmento <i>Contemporary</i>	117
5.18. Los 15 puertos con más tráfico recibido y su evolución durante los años de estudio para el segmento <i>Contemporary</i>	118
5.19. Los 15 puertos con mayor grado de centralización entrante y su evolución durante los años de estudio para el segmento <i>Contemporary</i>	120
5.20. Los 15 puertos con mayor grado de centralización saliente y su evolución durante los años de estudio para el segmento <i>Contemporary</i>	120
5.21. Los 15 puertos con mayor grado de intermediación y su evolución durante los años de estudio para el segmento <i>Contemporary</i>	121
5.22. Los 15 puertos con mayor índice <i>hub</i> y su evolución durante los años de estudio para el segmento <i>Contemporary</i>	122
5.23. Los 15 puertos con más tráfico iniciado y su evolución durante los años de estudio para el segmento <i>Premium</i>	131
5.24. Los 15 puertos con más tráfico recibido y su evolución durante los años de estudio para el segmento <i>Premium</i>	132
5.25. Los 15 puertos con mayor grado de centralización entrante y su evolución durante los años de estudio para el segmento <i>Premium</i>	133
5.26. Los 15 puertos con mayor grado de centralización saliente y su evolución durante los años de estudio para el segmento <i>Premium</i>	134

5.27. Los 15 puertos con mayor grado de intermediación y su evolución durante los años de estudio para el segmento <i>Premium</i>	135
5.28. Los 15 puertos con mayor índice <i>hub</i> y su evolución durante los años de estudio para el segmento <i>Premium</i>	136
5.29. Los 15 puertos con más tráfico iniciado y su evolución durante los años de estudio para el segmento <i>Upper premium</i>	145
5.30. Los 15 puertos con más tráfico recibido y su evolución durante los años de estudio para el segmento <i>Upper premium</i>	145
5.31. Los 15 puertos con mayor grado de centralización entrante y su evolución durante los años de estudio para el segmento <i>Upper premium</i>	146
5.32. Los 15 puertos con mayor grado de centralización saliente y su evolución durante los años de estudio para el segmento <i>Upper premium</i>	147
5.33. Los 15 puertos con mayor grado de intermediación y su evolución durante los años de estudio para el segmento <i>Upper premium</i>	148
5.34. Los 15 puertos con mayor índice <i>hub</i> y su evolución durante los años de estudio para el segmento <i>Upper premium</i>	149
5.35. Los 15 puertos con más tráfico iniciado y su evolución durante los años de estudio para el segmento de lujo.	157
5.36. Los 15 puertos con más tráfico recibido y su evolución durante los años de estudio para el segmento de lujo.	157
5.37. Los 15 puertos con mayor grado de centralización entrante y su evolución durante los años de estudio para el segmento de Lujo.	158
5.38. Los 15 puertos con mayor grado de centralización saliente y su evolución durante los años de estudio para el segmento de Lujo.	159
5.39. Los 15 puertos con mayor grado de intermediación y su evolución durante los años de estudio para el segmento de Lujo.	160
5.40. Los 15 puertos con índice <i>hub</i> y su evolución durante los años de estudio para el segmento de Lujo.	161
5.41. Los 15 puertos con más tráfico iniciado y su evolución durante los años de estudio para el segmento de expedición.	170
5.42. Los 15 puertos con más tráfico recibido y su evolución durante los años de estudio para el segmento de expedición.	170
5.43. Los 15 puertos con mayor grado de centralización entrante y su evolución durante los años de estudio para el segmento de expedición.	172

5.44. Los 15 puertos con mayor grado de centralización saliente y su evolución durante los años de estudio para el segmento de expedición.	172
5.45. Los 15 puertos con mayor grado de intermediación y su evolución durante los años de estudio para el segmento de Lujo.	173
5.46. Los 15 puertos con índice <i>hub</i> y su evolución durante los años de estudio para el segmento de Expedición.	174
5.47. Distribución de emisiones en las principales conexiones del Mediterráneo Occidental ordenados de mayor a menor número de conexiones.	181
5.48. Continuación de la distribución de emisiones en las principales conexiones del Mediterráneo Occidental ordenados de mayor a menor número de conexiones.	182
5.49. Continuación de la distribución de emisiones en las principales conexiones del Mediterráneo Occidental ordenados de mayor a menor número de conexiones.	183

Agradecimientos

Termino otra importante etapa de mi vida académica, y como es de bien nacido ser agradecido, me gustaría hacer honor a este dicho popular en las siguientes líneas.

Utilizar palabras para describir todo el apoyo y cariño que he recibido por parte de mis padres sería imposible. Gracias por estar ahí, por los valores que me habéis inculcado y enseñado, por la educación y la fe que me habéis transmitido; gracias también por el esfuerzo económico que ha supuesto para vosotros poder darme la posibilidad de estudiar. Cómo no agradecer a todos mis hermanos y hermanas su apoyo y cariño. Gracias a toda mi familia por su apoyo y preocupación desde la distancia, y por hacerme comprender el valor del trabajo y del esfuerzo.

Es necesario también agradecer a la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y Oceánica, su director y sus profesores, todo el conocimiento que me han transmitido a lo largo de estos dos años. Quisiera expresar también mi gratitud al Departamento de Tecnología Naval, más concretamente al Dr. D. José Alfonso Martínez García, al Dr. D. José Enrique Romero Gutiérrez y Dr. D. Leandro Ruiz Peñalver, pero especialmente al Dr. D. Jerónimo Esteve Pérez por dirigirme el trabajo y haberme facilitado los datos e información necesaria, además de haber sido mi tutor en beca de iniciación a la investigación, gracias a la cual he podido seguir en Cartagena.

Por último agradecer a todos mis amigos, compañeros del máster, y gente con la que he compartido en este tiempo tantos buenos momentos, especialmente a Pablo Brau, Andrés Pastor, Rubén de la Cerda, Unai Odriozola, Luís Ávila, Héctor Valera, Pablo García, Jaime, Ceferino Miguel, Sergio López, Pablo Saura, Conchi Ibarra y otros tantos que no puedo nombrar aquí, pues la lista sería interminable, a todos ellos, gracias.

A todos vosotros, muchas gracias.

Manuel del Río González

En Cartagena, 5 de Marzo de 2021.

Introducción

La primera naviera en ofrecer un servicio regular desde Estados Unidos a Inglaterra donde se contemplaba también la comodidad del pasaje (en cierta medida) fue *Black Ball Line* en 1818, marcando el inicio de una tendencia que culminaría con la aparición de los cruceros. Durante el siglo XIX se fueron implementando mejoras dirigidas al bienestar de un selecto grupo del pasaje, como luz eléctrica, cubiertas más espaciosas y ciertas zonas de ocio y entretenimiento. El resto de personas a bordo seguían viajando en condiciones más modestas [16].

La década de 1960 marcó el inicio de lo que hoy se conoce industria de cruceros con la aparición del transporte aéreo de pasajeros. En esta década, los *liners* que conectaban ambas orillas del océano atlántico fueron disminuyendo cada vez más. La tendencia negativa del mercado y la ausencia de flete para transportar empujó a algunas navieras a reconvertir su buques, de forma que los primeros cruceros fueron *liners* modificados. La década de 1970 trajo consigo la subida del petróleo y la mejora de los aviones comerciales, lo que supuso que el servicio de transporte marítimo transatlántico quedase prácticamente sin demanda. Por ejemplo, en aquel entonces un avión tardaba unas ocho horas en conectar París o Londres con Nueva York, mientras que si el viaje se realizaba en barco la duración del viaje aumentaba a los cuatro días. Como consecuencia de todo lo anterior, las primeras navieras de cruceros se crearon durante estos años. A finales de esta década se comenzaron a construir los primeros barcos que operaban exclusivamente como cruceros y no como transporte de pasajeros. En los años siguientes (la década de 1980) se comenzó a aplicar la economía de escala, de forma que el tamaño de estos barcos fue aumentando progresivamente hasta lo que hoy se conoce como mega buques de crucero [17].

El crecimiento de esta industria ha sido positivo desde sus inicios, prácticamente. El desarrollo de este sector ha supuesto un impacto económico positivo en las regiones de destino. La CLIA (*Cruise Lines International Association*) estimó que en el año 2019 el aporte de este sector a la economía mundial fue de 150 mil millones de dólares [18]. Las terminales que conforman la red de este tráfico tienen mayor o menor importancia dentro de la misma según sus características [19] [20]. El efecto que tiene esta actividad en la economía de las ciudades cuyos puertos acogen, es también notable [21]. Es por esto, que este tipo de estudios están plenamente justificados, ya que aportan conclusiones de las que se pueden extraer las estrategias que debe de seguir la terminal de cruceros para atraer más barcos de este tipo.

El mercado de cruceros europeo sigue en plena expansión. Este sector en Europa no se puede entender sin el Mediterráneo, que a pesar de ser una de las zonas más solicitadas por este tipo de turismo aún no ha sufrido estancamiento. La CLIA realizó un informe en 2018 donde se podía observar un crecimiento de pasajeros que eligen el Mediterráneo para hacer un crucero. En el año 2017 esta región recibió la visita de 3 millones de pasajeros (teniendo en cuenta la parte Oriental y Occidental), mientras que en 2018 el número de pasajeros que visitaron el Mediterráneo fue de 4,1 millones [2]. Paralelamente, los puertos Atlánticos y del Norte de Europa han ido ganando relevancia

entre los cruceristas durante los últimos años, aunque aún no alcanza el nivel de importancia del Mediterráneo.

El crecimiento del mercado global de cruceros ha hecho que muchos autores comiencen a estudiarlo desde un punto de vista más amplio. La teoría de redes, concretamente el SNA (*Social Network Analysis*), puede ser una herramienta adecuada para abordar problemas dinámicos y complejos como la industria de cruceros. Este tipo de análisis se ha utilizado previamente en campos tan diversos como el turismo [22], la industria del transporte marítimo e contenedores [23] e incluso también en este sector [24], mostrando resultados satisfactorios.

Este trabajo trata de abordar un problema que se viene observando durante las últimas décadas, y es el impacto ambiental que tienen esta actividad, especialmente el atmosférico. Este estudio no sólo intenta dar una solución a este problema, sino que procura establecer los patrones del mercado de cruceros europeo. La obtención de estas tendencias pueden considerarse necesarias para tratar el impacto ambiental, económico de los cruceros, así como para que las navieras puedan diseñar itinerarios óptimos, reduciendo costes y maximizando la cantidad de pasajeros. Éstos han sido los motivos de realizar este trabajo. Por ello, se han definido los siguientes objetivos:

1. Revisión bibliográfica sobre el mercado mundial de los cruceros y la teoría de redes.
2. Las técnicas con las que cuenta este sector para reducir el impacto medioambiental de su actividad.
3. Obtención y tratamiento de los datos facilitados por las distintas terminales de cruceros.
4. Análisis de este sector en el mercado Europeo con herramientas propias de la teoría de redes.
5. Estudio comparativo del impacto ambiental que tienen los cruceros en el mercado Mediterráneo con dispositivos que reducen la huella de carbono del barco, y sin éstos.

El documento se va a dividir en seis capítulos, que intentan poner de relieve todos los objetivos enumerados anteriormente de forma progresiva.

1. La industria de los cruceros: capítulo que trata las principales características de esta actividad, así como su impacto ambiental y el uso del análisis de redes sociales para analizarla.
2. Teoría de Redes: en este apartado se realiza un estado del arte acerca de la teoría de redes y los algoritmos que se han desarrollado para estudiar este tipo de estructuras.
3. Contaminación atmosférica en la industria naval: esta sección versa sobre el impacto negativo de la actividad crucerista en la atmósfera y los distintos tipos de medidas que se han desarrollado para minimizarlo.
4. Materiales y métodos: capítulo donde se exponen las herramientas, programas y datos empleados para este trabajo.
5. Resultados y discusión: en esta parte se presentan y discuten las soluciones que resultan de la información y los métodos del apartado anterior.
6. Conclusiones del trabajo: se enuncian las deducciones alcanzadas a partir de los resultados obtenidos en los capítulos anteriores, y en general del trabajo.

La meta última que persigue este trabajo es la de intentar ayudar a resolver uno de los problemas más grandes a nivel mundial, el cambio climático y la emisión de gases contaminantes, además de estudiar los patrones existentes en el tráfico de cruceros europeo.

Capítulo 1

La industria de cruceros

El siguiente capítulo va a tratar de definir la industria de cruceros y su funcionamiento en términos generales. Posteriormente, se puede leer un breve estado del arte sobre el análisis de redes sociales aplicado a los cruceros. Por último, se va a enumerar y mencionar los impactos ambientales de esta actividad crucerista.

1.1. La industria de cruceros

La industria de cruceros es un sector dinámico, que se encuentra en constante crecimiento desde sus inicios, conformándose en estos últimos años como un componente relevante en la industria del transporte marítimo y del turismo. Los viajes en crucero se han convertido en una parte fundamental del sector turístico gracias al crecimiento que ha registrado debido al uso de buques cada vez de mayor tamaño (economías de escala), y al aumento de la oferta de ocio y entretenimiento a bordo [17]. La cifra de pasajeros de crucero a nivel global han mantenido un crecimiento constante del 6% durante los años 2016, 2017 y 2018 en los que viajaron 25,1, 26,7 y 25,5 millones de pasajeros respectivamente. No obstante, tanto la duración media, como la edad promedio de los pasajeros se han mantenido constante durante estos años, siendo de 7 días y 46,7 años, respectivamente [2].

1.1.1. El producto de crucero

El producto de crucero está compuesto de tres elementos básicos (Figura 1.1) [1]. Dichos componentes son:

- Transporte.
- Turismo y el ocio.
- Itinerario.

La actividad de cruceros combina dos tareas principales básicas: la de alojamiento y transporte. Un crucero actual puede definirse como *resort* marino, pues no sólo es un hotel flotante, sino que dispone

de instalaciones de ocio a bordo que con el tiempo han ido ganando importancia. Por otra parte, el crucero como transporte tiene otra diferencia con el *resort* terrestre, pues su carácter de transporte lo hace más flexible al poder trasladar el alojamiento donde sea conveniente [25].

La suma del buque más el itinerario/región es el producto que la naviera ofrece en el mercado. Este itinerario es la suma de varios destinos/puertos donde se lleva a cabo la actividad crucerista [26]. La industria de cruceros vende itinerarios, no destinos, lo que demuestra la importancia de éstos. Las navieras se enfrentan al reto de desarrollar itinerarios competitivos, pero al mismo tiempo tienen que optimizar el despliegue de su flota de cruceros con vistas a minimizar costes operativos y/o maximizar los ingresos por plaza de pasajero. El diseño de la estrategia del despliegue de cruceros y el itinerario se ve afectado por las circunstancias y requisitos del mercado, la estacionalidad de la demanda, el tiempo óptimo de duración, así como el equilibrio entre el tiempo de navegación y en tierra, la existencia de destinos imprescindibles y la satisfacción general del cliente [17].

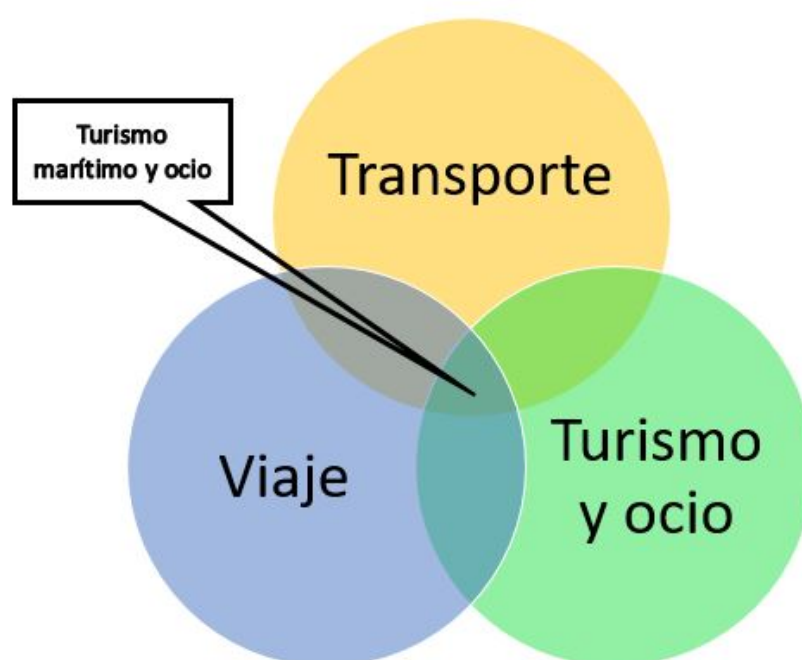


Figura 1.1. Los tres elementos básicos del producto de crucero [1].

1.1.2. Zonas de operación de los cruceros

Las principales zonas de operación en el tráfico de cruceros son las siguientes: Caribe, Mediterráneo, Norte de Europa, Alaska, América del Sur, Antártida y Asia-Pacífico. A continuación, se ofrece una descripción de las principales regiones de destino enumeradas anteriormente:

- Caribe: es la zona más importante de tráfico de cruceros del mundo y donde se originó el concepto de crucero como *fun ship*. El turismo en esta región está asociado con el concepto sol y playa. El Caribe a su vez se divide en:
 - Caribe Oriental.
 - Caribe Occidental.
 - Bahamas.

- Mediterráneo: es la segunda zona más importante en el tráfico de cruceros. Esta región se puede dividir en:
 - Mediterráneo Occidental: es la parte que queda entre la península itálica e ibérica.
 - Mediterráneo Oriental: va desde el mar Adriático hacia la costa de Oriente próximo.
- Norte de Europa: se divide en cinco zonas de operación.
 - Los fiordos Noruegos.
 - El Mar Báltico.
 - Las islas Británicas.
 - Europa Occidental.
 - Las islas del Atlántico.
- Alaska: es una región más especializada donde el turista busca la naturaleza. No obstante, la temporada alta en esta región suele ser de corta duración debido a sus condiciones climáticas adversas en el invierno.
- América del Sur y Antártida: el principal atractivo de esta zona son sus reservas naturales, así como la importancia cultural y arquitectónica de las antiguas civilizaciones que allí habitaron. Por otra parte, la Antártida ofrece un turismo de naturaleza.
- Asia-pacífico: es una de las regiones con mayor crecimiento del mundo. La zona de Asia Pacífico puede dividirse en varias zonas:
 - Pacífico Sur: incluye Australia, Nueva Zelanda, Indonesia...
 - Sueste Asiático: constituido por Malasia, Filipinas, Singapur, Tailandia...
 - Extremo Oriente: con países como China, Japón, República de Corea...
 - Transpacífico: incluye las Islas Hawái, Islas Fidji, Polinesia Francesa...

La figura 1.2 refleja la importancia de la región Caribeña. No obstante, un análisis sobre la capacidad desplegada durante los años 1990-2006 a nivel global concluyó que la importancia de las zonas más tradicionales de cruceros como el Caribe, comenzaba a perder importancia a favor de otras regiones como Europa (Mediterráneo y Norte de Europa) [27].

El Mediterráneo se ha consolidado como una de las zonas más importantes, en lo que a tráfico de cruceros se refiere. El Caribe, sigue siendo a día de hoy la zona principal en este ámbito, debido a sus características geográficas, culturales y su proximidad a Estados Unidos, el principal país emisor de pasajeros. Aunque el Mediterráneo se encuentra lejos aún de las cifras del Caribe, ha registrado un considerable desarrollo, lo que ha colocado a esta región como la segunda más relevante a nivel mundial. (Soriani et al 2009). La Asociación Internacional de Navieras de Cruceros (CLIA por sus siglas en inglés '*Cruise Lines International Association*') afirmó que el número de cruceristas en el Mediterráneo ha aumentado de 3,77 millones en 2017 hasta 4,10 millones en 2018. Este crecimiento supone un aumento anual del 8,7%, consolidándose así el Mediterráneo como la segunda zona más transitada por cruceros [28]. Por otra parte, la flota desplegada en el Mediterráneo fue de un 17,3% en 2019, sólo por detrás del 34,4% de la flota desplegada en el Caribe [18].

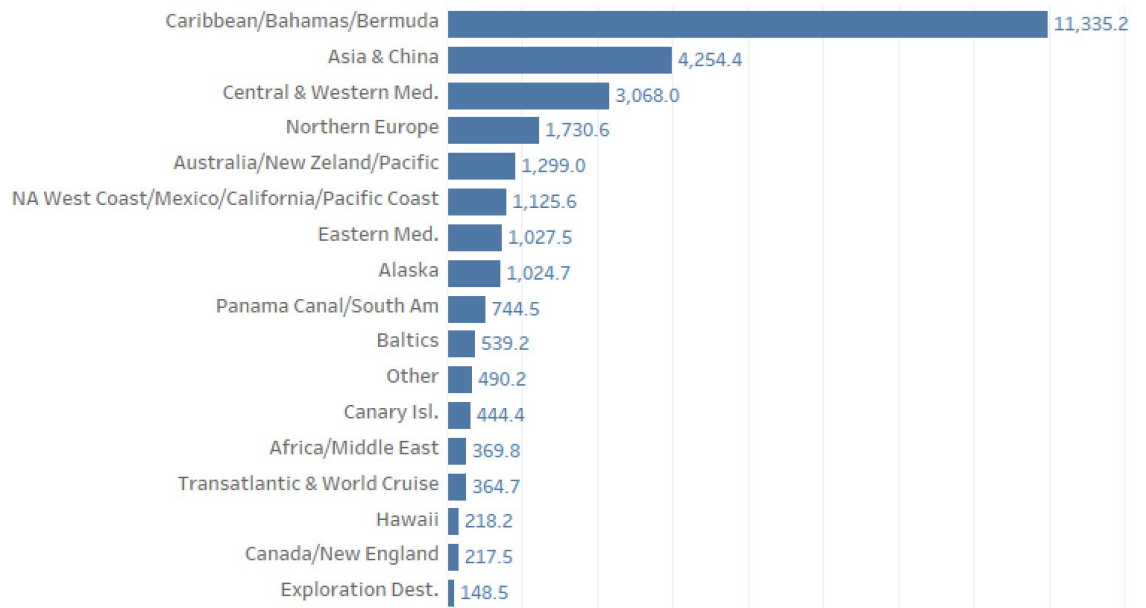


Figura 1.2. Número de pasajeros por zonas (en miles) durante 2018 [2].

El Mediterráneo presenta ciertas ventajas sobre otras zonas que las navieras intentan explotar. Al contrario que el Caribe, donde el producto ofertado por la naviera es únicamente el trío '*fun-sun-sea*', el Mediterráneo ofrece más alternativas. Esta región posee una riqueza histórica y cultural, que no existe en otro lugar del mundo, pues en el Mediterráneo se desarrollaron importantes civilizaciones antiguas (Roma, Grecia y Egipto), lo que hace de esta región una zona de interés para los turistas [19]. La expansión del mercado -mediterráneo está asociada a varios factores. Primero, la cantidad de puertos disponibles que permite a las navieras configurar nuevos itinerarios sin que suponga un aumento excesivo de la duración del crucero, ya que las distancias son limitadas. El Mediterráneo conecta tres continentes distintos, por lo que no sólo tiene cantidad de puertos, sino diversidad de culturas. En segundo lugar, la continua mejora y ampliación de infraestructuras portuarias y de terminales de crucero hacen que la calidad del viaje aumente y que se pueda atender a un mayor número de pasajeros sin perder calidad. Por último, el clima mediterráneo permite alargar las temporadas altas de cruceros [29].

La zona del Norte de Europa se ha posicionado como una de las principales zonas de operación en el mundo. Según la CLIA, el Norte de Europa durante los años 2016, 2017 y 2018 ha registrado un aumento en el número de pasajeros del 10% y 11% para estos dos últimos años (Tabla 1.1) [2]. La flota desplegada en el Norte de Europa supone el 11% del total, lo que sitúa a esta región como la tercera con mayor porcentaje de flota desplegada [18].

Tabla 1.1. Evolución del volumen de pasajeros durante los años 2016, 2017 y 2018 en el Norte de Europa [2].

Año	2016	2017	2018
Volumen de Pasajeros (millones)	1,419	1,569	1,731

El Norte de Europa, al igual que el Mediterráneo presenta varios tipos de turismo, pues su oferta abarca desde la naturaleza de los fiordos, hasta la diversidad cultural que ofrece el mar Báltico con 10 países y 8 capitales. Por otro lado, en los puertos noruegos es posible contemplar el paisaje, adoptando

el carácter de cruceros paisajísticos y culturales, donde la naturaleza, la historia y el arte suelen estar presentes en el recorrido, enriqueciendo enormemente el viaje [26]. Los archipiélagos atlánticos, suponen una importante zona de operación en el Norte de Europa, pues actúan como puertos de escala cuando los cambios de temporada hacen que los cruceros tengan que reposicionarse [30].

1.1.3. Segmentación de mercados de cruceros

Los seis segmentos distintos que pueden considerarse en el mercado mundial de cruceros son: *Budget*, *Contemporary*, *Premium*, *Upper-premium*, *Lujo* y *Expedición*. La relación pasajeros/tripulación es uno de los parámetros más importantes a la hora de distinguir estos segmentos. Las características principales de cada uno de los segmentos se describen a continuación:

- Segmento *Budget*: se caracteriza por ofertar unos precios muy ajustados, lo que hace este segmento especialmente atractivo para gente joven y capas de población con un menor poder adquisitivo. Las travesías suelen ser cortas, y la zona de operación suele ser el Mediterráneo (estos cruceros no operan en el mercado norteamericano). Los buques utilizados en este segmento son de pequeño tamaño y con el mínimo de instalaciones a bordo.
- Segmento *Contemporary*: estos cruceros son los más populares y los más rentables gracias a las economías de escala que aplican las navieras. Estos buques disponen de instalaciones tipo *resort* enfocadas a la realización de múltiples actividades a bordo. Esto hace a este segmento idóneo para aquellas familias con niños de todas las edades. No obstante, su público objetivo abarca a personas de todas las edades, pues ofrece algo para todo el mundo. La duración de las travesías suele ser de tres a siete días. La mayor parte de las zonas donde existe tráfico de cruceros albergan a buques de este segmento. El tamaño de los barcos pertenecientes a esta clase es considerable (debido a las economías de escala).
- Segmento *Premium*: ofrece una experiencia más sofisticada que el anterior, más acorde a aquellas personas que ya han tenido una experiencia previa. La edad y renta media del público de este segmento es superior a las anteriores. La decoración de estos buques tiene un gusto más refinado que los barcos *contemporary*. Las travesías suelen ser de siete noches. Los principales beneficios obtenidos son las excursiones en tierra. Los itinerarios que se ofertan en este tipo de segmento incluye puertos raramente visitados, lo que hace a esta experiencia algo más selecta que las anteriores.
- Segmento *Upper - premium*: las diferencias con el anterior son escasas. Este segmento puede considerarse como un paso intermedio entre el anterior y el lujo.
- Segmento *Lujo*: las instalaciones y los destinos que se ofertan en este caso son seleccionadas con cuidado para conseguir una experiencia elegante y distinguida. La exclusividad que se persigue se traduce en un menor número de pasajeros y en un ambiente mucho más formal. Además, los camarotes son espaciosos y con vistas al mar generalmente. La clientela de este segmento son parejas y solteros (no existen instalaciones para los niños). Los diseños sofisticados, las colecciones de arte y antigüedades junto con los itinerarios exclusivos, acentúan aún más el deseo de la naviera por conseguir un ambiente elitista. Los mayores beneficios se obtienen de las excursiones en tierra, al igual que los dos segmentos anteriores.
- Segmento *Expedición*: el destino cobra especial relevancia en este caso. Los lugares que se ofertan son aquellos remotos y de difícil acceso para un buque normal, como por ejemplo, la

Antártida, Alaska y algunas zonas de América del Sur. Los barcos son especializados y cuentan generalmente con una certificación que acredita su aptitud para navegar en condiciones adversas (buques con clasificación para navegar en hielo).

Existen variables significativas que permiten identificar cada uno de los anteriores segmentos (Tabla 1.2).

Tabla 1.2. Rangos de valores de las variables significativas para los diferentes segmentos de cruceros.

Segmento	Pasajeros	Rango G.T.	G.T./Pasajero	Relación pasajero/tripulante
Budget	1050	5000-30000	20-35	>2,6
Contemporary	3200	60000-120000	30-50	2,2-2,6
Premium	2100	20000-90000	40-50	1,8-2,3
Upper-premium	675	20000-35000	40-50	1,6-1,9
Lujo	300	10000-70000	>50	1,4-1,6
Expedition	200	10000-30000	*	*

*Nota: La variación de pasajeros y tripulantes en los buques del segmento de Expedición es tal que resulta difícil establecer un límite

1.2. Análisis de redes sociales aplicada a puertos de cruceros

En la configuración de un itinerario de crucero, una de las preguntas más importantes que se plantea la naviera de cruceros es ¿qué puerto visitar?, pues de la decisión que resulte de la respuesta tendrá un gran impacto no sólo para la naviera en cuestión, sino también repercutirá en escalas para puertos de la región de destino. Paralelamente, la respuesta a esa pregunta podría tener consecuencias económicas, ambientales y sociales en los puertos afectados [31]. Por otra parte, los cruceros deben tener acceso a unas infraestructuras y servicios portuarios adecuados, pues el confort y satisfacción del pasajero es un aspecto de enorme relevancia a la hora de que las navieras elijan un puerto para incluirlo en un itinerario. Generalmente, los puertos están interesados en ser puertos base del mayor número de navieras posible, pues esto repercutiría positivamente tanto en el puerto como en la ciudad portuaria. Existen tres actores que hacen que este impacto sea beneficioso: las navieras de cruceros que aseguran un tráfico de estos buques [32], los pasajeros y la tripulación del buque que aumentan el consumo en la ciudad constituyéndose como una fuente de ingresos para esta población [33] [34].

La mayor parte de estudios sobre la industria de cruceros se centran, fundamentalmente, en las siguientes cuestiones: la industria de cruceros a nivel mundial [35] [27], el turismo de cruceros sostenible [36], el problema del sobre-turismo provocado por los cruceros [37], los problemas ecológicos derivados de esta actividad [38] [39], la geografía del tráfico de cruceros [17], gestión de puertos [40] y la seguridad y protección en estos buques [41]. Sin embargo, son escasos los trabajos que estudian la relación que tienen los puertos entre sí, así como, su posición competitiva dentro del conjunto de puertos de una región de destino. En este sentido, los trabajos vinculados con este campo analizan la competición y cooperación entre puertos [42] o la forma de modelar y evaluar el comportamiento de los puertos en la red que ellos mismos forman [24].

El trabajo de Jeon, Duru y Yeo plantea un índice que estima el atractivo del puerto de crucero dentro de la red [24]. De acuerdo con dicho estudio, un puerto es más atractivo cuanto más intensa es

su conexión con puertos importantes. Este tipo de resultados proveen a las navieras y a los puertos de la información necesaria para atraer más pasajeros elaborando nuevos itinerarios. Este índice va a ser utilizado posteriormente en este trabajo para comprobar la relevancia de los puertos dentro de la red Europea.

El mercado de cruceros se puede considerar dinámico debido a su rápida y constante transformación. Es por esta razón que, para comprender y captar los patrones de comportamiento, es necesario considerar una línea temporal lo suficientemente extensa. Lo novedoso del presente estudio es que el tiempo de análisis es de 5 años, desde 2015 hasta 2019, lo que permite percibir los cambios en el sistema y entenderlos. Adicionalmente, con el análisis de series temporales tan grandes se espera obtener resultados de alto grado de precisión, lo que conlleva un mejor entendimiento de la evolución que han registrado los itinerarios de los cruceros, y que se refleja en el número de escalas de estos barcos en los puertos.

No obstante, existen ciertas limitaciones respecto al uso del análisis de redes sociales. En primer lugar, Wang et al. [43] comprobaron que el uso de SNA en este tipo de estudios puede ser insuficiente para estudiar este tipo de redes apropiadamente. Además, Ducruet afirma que: al contrario que en las redes sociales, los puertos no pueden ser considerados como entidades propias que puedan tomar sus propias decisiones. En este caso los puertos son más como una parte de una amplia comunidad donde existen múltiples intereses en la que participa también la cadena logística y los agentes de transporte mundiales y nacionales [44].

1.3. Impacto ambiental de la actividad crucerista

Las potenciales consecuencias del vertido y emisión descontroladas en los mares se comenzó a entender cuando finalizaba la década de 1960, lo que supuso la celebración de la convención sobre la descarga de desechos de 1972 (*London Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter* (LDC)) [45]. La degradación medioambiental discriminada que habían sufrido los mares y océanos se había llevado a cabo durante muchos años. La necesidad de prevenir más degradación en estos ambientes fue especialmente resaltada en el capítulo 17 de la Agenda 21 durante la Cumbre de la Tierra de Río (*Rio Earth Summit*) [46]. Durante este tiempo, se han ido sucediendo distintos congresos y cumbres de los cuales han salido nuevas normativas que regulan el impacto ambiental de la actividad marítima. No obstante, la navegación es el método de transporte más barato, y menos contaminante por unidad de carga transportada, si se compara con el transporte por carretera, aéreo o por ferrocarril [38].

La industria de cruceros no puede clasificarse como sostenible, pues estos buques consumen una gran cantidad de recursos. La naturaleza de este tipo de turismo provoca una gran presión medioambiental y generan un gran impacto en los lugares que visitan. Los pasajeros que participan de esta actividad se sienten atraídos por zonas conocidas como '*Ecológicamente vulnerables*'. Las islas del Caribe o Alaska son un claro ejemplo de lo anterior, pues presentan ecosistemas vulnerables y con alta biodiversidad, y sin embargo, la flota desplegada es del 38,7 y 4,4 % respectivamente [47]. La presión sobre las ciudades pequeñas de las islas y archipiélagos ha alcanzado en algunos casos niveles agudos, en particular en el Caribe y el Pacífico meridional, donde se está tratando de determinar estrategias que reduzcan el impacto ambiental del creciente número de visitas de los cruceros.

Los barcos de crucero representan algo menos del 1 % de la flota global, y sin embargo se estima

que son responsables del 25 % de la contaminación proveniente de todos los buques a nivel global [38]. El impacto negativo que tienen los cruceros en el medio se puede resumir en los siguientes puntos:

- Emisiones contaminantes.
- Aguas de lastre.
- Aguas grises y negras.
- Desechos peligrosos.
- Desechos sólidos.

La contaminación atmosférica es un subproducto importante de todos los buques, y es especialmente relevante en el impacto que tienen los cruceros en el medio ambiente. Muchos buques utilizan fuel-oil pesado por razones económicas, dicho combustible es rico en azufre (tiene un 90% más que el diésel). La combustión de estos hidrocarburos genera emisiones con alto contenido en óxido de nitrógeno y azufre, además de monóxidos de carbono [48]. Además, en periodos de alta demanda energética no es posible funcionar sólo con los motores principales, por lo que también se recurre a los auxiliares, aumentando más la cantidad de emisiones generadas.

Los problemas provenientes de la contaminación del aire y la disminución de su calidad debida a la navegación han sido demostrados por numerosos estudios tanto a nivel global [49] [50] y regional [51] [52], así como en áreas portuarias [53] [54]. El tráfico marítimo causa a la atmósfera efectos nocivos que pueden tener consecuencias adversas tanto para la salud de las personas, como para el medio ambiente. De un tiempo a esta parte algunos barcos están investigando alternativas viables, como motores más limpios y combustibles más refinados.

Capítulo 2

Teoría de Redes

La teoría o ciencia de redes es un campo matemático que estudia redes complejas, ya sean biológicas, de telecomunicaciones o de tráfico, entre otras. El estudio de redes surgió del intento por resolver el problema de los siete puentes de Königsberg en 1736 por Euler [55]. Desde entonces se han ampliado las aplicaciones de este campo, pues aunque originalmente era un sector relacionado con las matemáticas, también se ha utilizado para analizar datos observando las relaciones entre éstos, así como identificar pequeñas interacciones y dinámicas en la red que producen cambios más grandes y significativos [4].

Los algoritmos matemáticos que se desarrollan dentro de la teoría de grafos usan las relaciones entre los nodos para inferir la organización, la dinámica de sistemas más complejos y descubrir información difícilmente visible. Estos algoritmos conforman una de las herramientas más potentes para este cometido, y tienen un amplio campo de aplicación, desde estimar la expansión de algún nuevo producto en el mercado hasta optimizar rutas de transportes. De hecho, en 2010 Estados Unidos sufrió dos serios problemas de congestión en varios de sus aeropuertos, véase Figura 2.1. Estos dos episodios se estudiaron después con la teoría de redes, demostrando que los eventos de congestión fueron provocados por varios retrasos acumulados que terminaron por afectar al funcionamiento de la red [56].

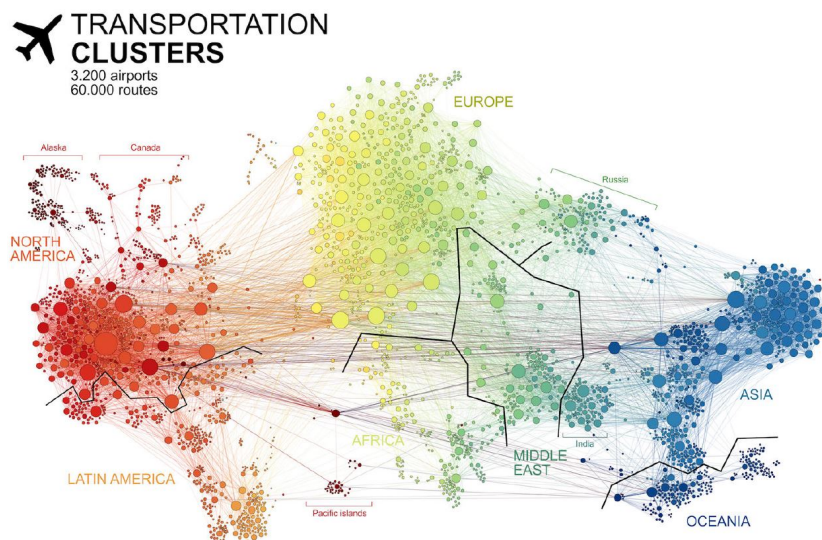


Figura 2.1. Red de transporte aéreo, donde se puede apreciar la estructura de *hub and spoke*. Esta morfología de red afecta a cómo se desarrolla el flujo de transporte aéreo [3].

Los grafos se usan para ayudar a dar sentido a un conjunto de datos conectados, además de ser una herramienta única para entender las estructuras y revelar los patrones subyacentes en las bases de datos conectados. Las relaciones y dependencias de los datos se vuelven más relevantes cuanto más conectados están éstos. Con el tiempo, las bases de datos que se generan han ido creciendo y ganando complejidad. No obstante, el crecimiento de estas bases de datos no suele ser uniforme, sino que tiende a describir cierta tendencia. Se ha observado que en la mayoría de casos, los nodos son propensos a conectarse con otros que ya tengan varias conexiones. Esto conlleva que se formen jerarquías dentro de la red y aunque la red crezca existe cierta propensión a conservar dichas jerarquías. Esta tendencia se puede observar en sistemas reales como en Internet, donde a pesar de existir multitud de grupos de *gamers* la mitad de la audiencia conecta sólo con cinco de estos grupos (Figura 2.2).

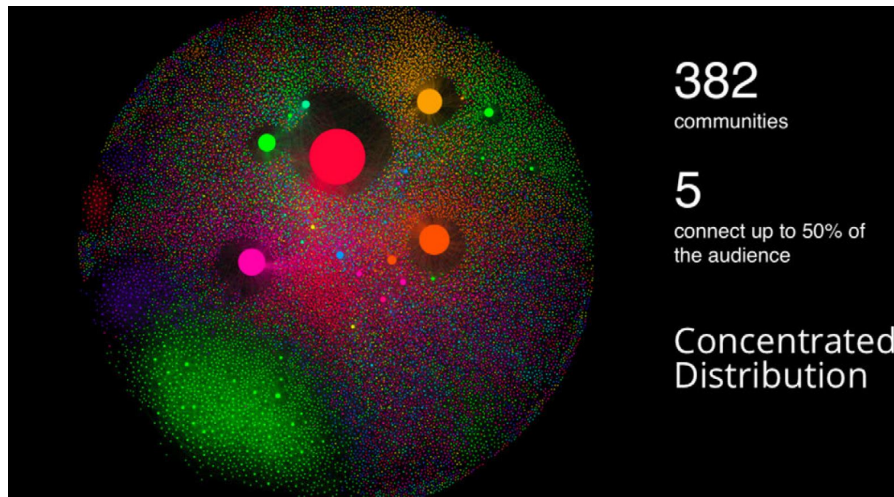


Figura 2.2. La comunidad *gaming* presenta una concentración clara de audiencia [4].

Las conexiones entre nodos no se asemeja a una distribución equitativa, donde las conexiones por nodo son iguales, sino más bien al contrario, pues la mayoría de redes presentan cierta concentración. Redes como Internet, o las de transporte tienen en común que la distribución sigue la regla 80/20 o de Pareto, es decir unos pocos nodos tienen un elevado número de conexiones, mientras que el resto poseen una cantidad de enlaces inferior. El crecimiento de la red dependerá en gran medida de la distribución que sigan las conexiones entre nodos de la red, por lo que este aspecto es de gran importancia a la hora de analizar una red. Es por esto, que utilizar modelos que asignen la misma importancia a todos los nodos no da resultados correctos, véase Figura 2.3.

La dificultad de trabajar con redes de datos conectadas, es que se tienen que aplicar los métodos correctos. Las herramientas que dan como resultado medidas medias hacen que los datos extremos no se tengan en cuenta. Esto último no es deseable, pues como se ha comentado antes las redes suelen estar muy polarizadas, ya que un número pequeño de nodos contiene una gran cantidad de conexiones. Además, sin las herramientas adecuadas no se podría observar el comportamiento dinámico de la red, por lo que no se sería posible hacer estimaciones de lo que pudiese pasar en un futuro cercano. De hecho, hay tres cuestiones principales por lo que este tipo de análisis está justificado:

- Propagación: ¿Cómo se propagan los cambios en la red?.
- Flujo e influencia: ¿Cómo afecta un nodo sobre la red?.
- Resiliencia: ¿Cómo afectan o afectarán los cambios exteriores a la red?.

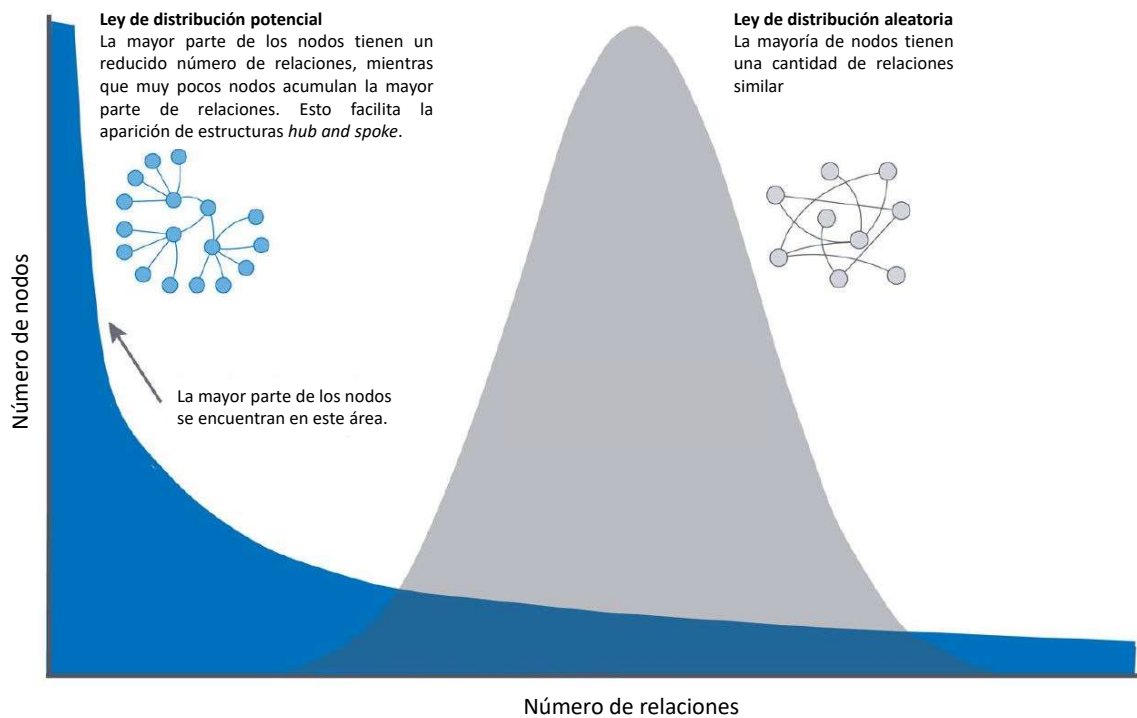


Figura 2.3. Las redes de los sistemas reales presentan una clara tendencia de *clusterización* o acumulación, pues unos pocos nodos poseen muchas conexiones siguiendo una distribución potencial (*Power-Law Distribution*). Una red que suponga una distribución media de conexiones da como resultado una red aleatoria y que apenas se observan en la realidad [4].

Por todo lo anterior, el análisis de redes y el uso de grafos se pueden tener muchas utilidades, entre las que destacan:

- Investigar en un flujo de trabajo donde se ha producido un error que ha afectado al resto de la organización.
- Identificar los componentes más vulnerables en una red.
- Descubrir jerarquías ocultas en la red.
- Localizar las influencias directas e indirectas de los nodos en un sistema complejo.
- Estimar o predecir el comportamiento futuro de una red.

Los siguientes apartados de este capítulo van a mostrar la terminología que se utiliza en este campo, además de enumerar los principales tipos de grafos y algoritmos.

2.1. Terminología y tipos de grafos

En este apartado se va a fijar el marco de trabajo y la terminología de los grafos. Se describirán cómo se dividen, representan los atributos de dichos grafos. Esto será importante, pues en etapas más avanzadas del TFM estas características aportarán información y ayudarán a interpretar los resultados.

2.1.1. Terminología

Los conceptos más importantes que se han de conocer para trabajar con los grafos son:

- Las etiquetas: el etiquetado de nodos es una de las formas de modelar y almacenar los datos.
- Relación: entre los nodos.
- Propiedades: pueden ser una multitud de tipos de datos, desde números y texto hasta fechas, y son atributos que pueden tener tanto los nodos como las conexiones que los relacionan.
- Subgrafo: es un grafo dentro de uno mayor, son útiles de cara a aplicar filtros y analizar datos cuando se necesita prestar atención a un grupo determinado de datos.
- *Path* o camino: constituido por un grupo de nodos y las conexiones de éstos entre sí.

Los conceptos anteriores se pueden observar de forma más clara en la Figura 2.4.

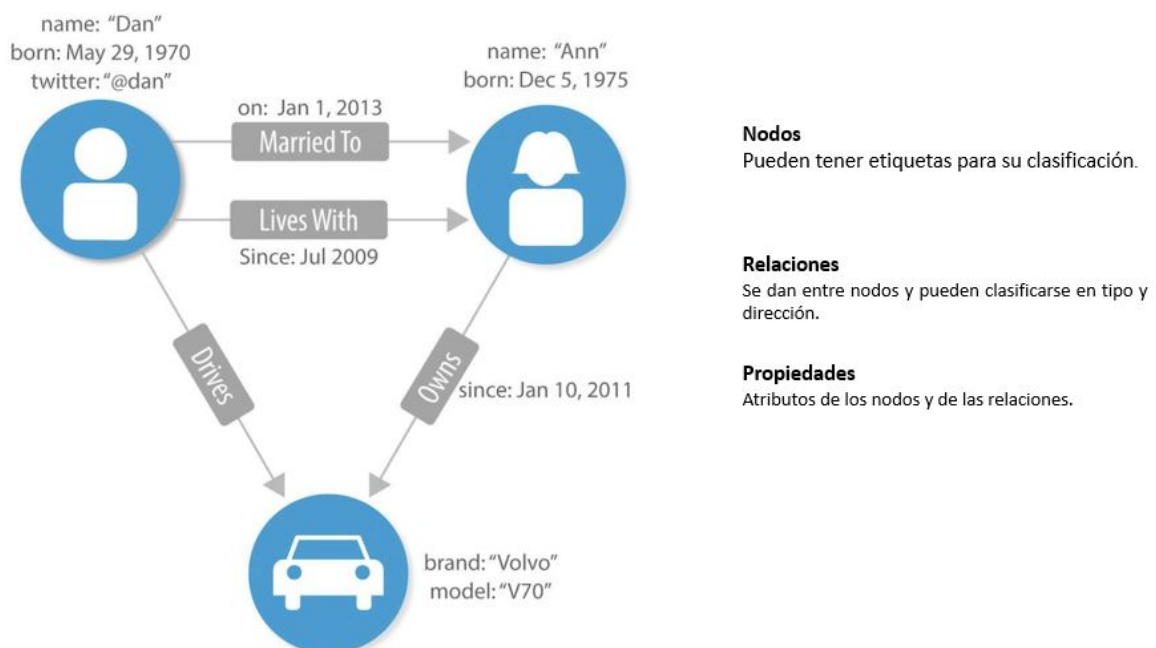


Figura 2.4. Grafo etiquetado con diversas propiedades, una forma muy flexible de representar datos conectados [4].

2.1.2. Tipos de grafos

Los grafos varían en forma, tamaño y atributos que ofrecen para el análisis. Los grafos se pueden clasificar según su tipología y estructura.

1. Tipología, véase Figura 2.4.

- Grafos Simples: los nodos sólo tienen una relación entre ellos.
- Multigrafos: los nodos poseen una o más conexiones entre ellos.
- Pseudografos: a parte de tener una o más conexiones entre los nodos, éstos pueden estar conectados consigo mismos.



Figura 2.5. Representación de los tres tipos de grafos: simple (izquierda), multigrafo (centro) pseudografo (derecha) [4].

2. Estructura, véase Figura 2.4.

- Grafos aleatorios: donde el número de conexiones por nodos, se reparten de manera similar.
- Grafos *Small-World* o red de mundo pequeño: donde la mayor parte de los nodos no son vecinos entre sí, y sin embargo la mayoría de los éstos pueden ser conectados con cualquier nodo a través de un número relativamente corto de relaciones entre nodos. Un buen ejemplo de ellos puede ser una red social, donde los nodos son personas.
- Grafos *Scale-free* o red de libre escala: donde la mayoría de conexiones pasar por un número pequeño de nodos.

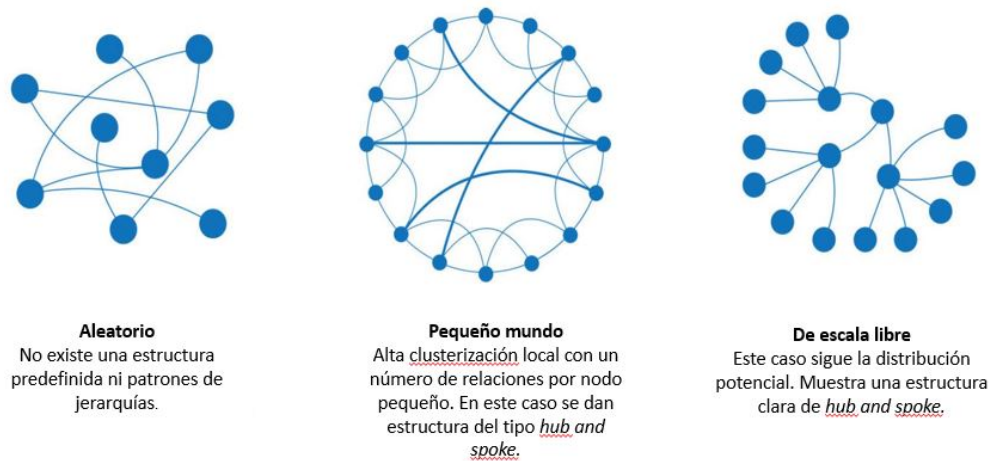


Figura 2.6. Representación de las tres principales estructuras de los grafos: aleatorio (izquierda), *small-world* (centro) y *scalefree* (derecha) [4].

2.1.3. Atributos de los grafos

Conocer las características particulares sus peculiaridades, es importante para entender tanto los grafos, como los algoritmos que se usan para su estudio. Existen los siguientes tipos de grafos en función de sus atributos

1. Grafos conectados y desconectados. Un grafo está conectado si existe un camino (conjunto de conexiones entre nodos) que los recorra a todos. Por otro lado, un grafo está desconectado si existen islas, que suelen llamarse componentes o *clusters*, véase Figura 2.7.

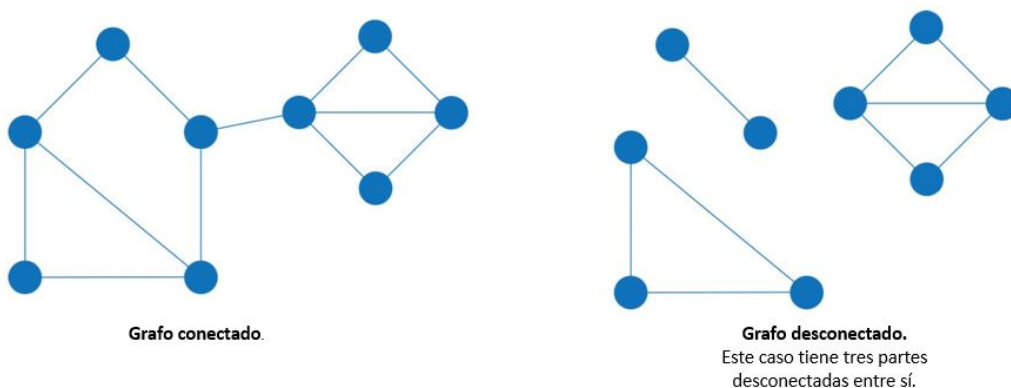


Figura 2.7. Grafo conectado (izquierda). Grafo desconectado, en este caso está compuesto por tres *clusters* (derecha) [4].

2. Grafos ponderados y no ponderados. La ponderación en los grafos consiste en añadir un valor numérico llamado peso, a las relaciones o a los nodos, de forma que se pueden representar gran cantidad de valores como el coste, tiempo, distancia y capacidad, entre otras. La ponderación en un grafo puede variar el camino más corto entre nodos, pues tal y como se muestra en la Figura 2.8. El camino más corto del grafo no ponderado entre los nodos A y E, es el que pasa

por D. Si se sigue este camino en el grafo ponderado, se observa que existe un camino con un coste menor, el que pasa por los nodos C y E.

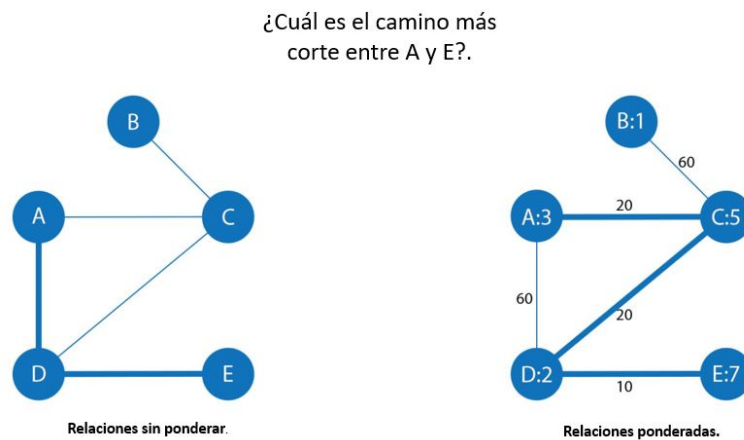


Figura 2.8. Grafo no ponderado (izquierda). Grafo ponderado, en este caso tanto los nodos como las relaciones entre éstos se encuentran ponderadas (derecha) [4].

3. Grafos direccionales adireccional. Los grafos con unas conexiones sin dirección son considerados como bidireccionales, un buen ejemplo son las relaciones o la amistad entre personas. Sin embargo, en los grafos direccionales las conexiones entre nodos apuntan específicamente a un determinado nodo. Este último tipo de grafo, proporciona más información pues indica la existencia de un flujo entre los nodos véase Figura 2.9.

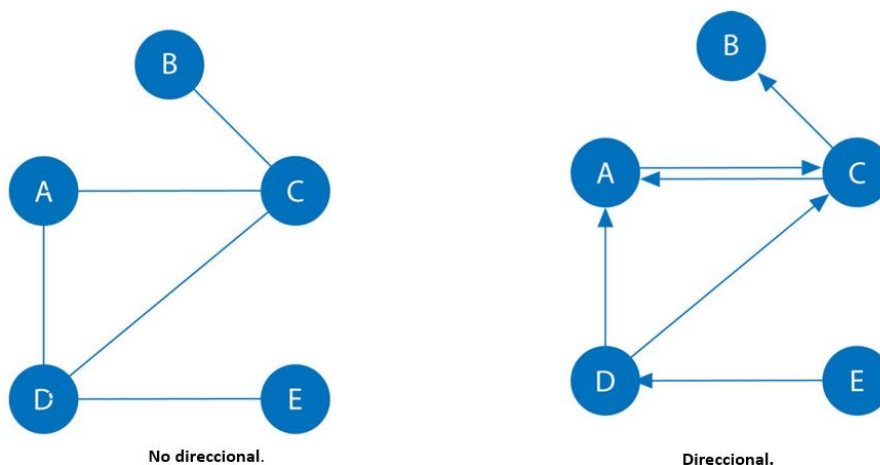


Figura 2.9. Grafo con conexiones adireccionales (izquierda). Grafo direccional (derecha) [4].

4. Grafos cíclicos y no cíclicos. En teoría de grafos, los ciclos son caminos cuyas relaciones y nodos empiezan y terminan en el mismo nodo véase Figura 2.10.

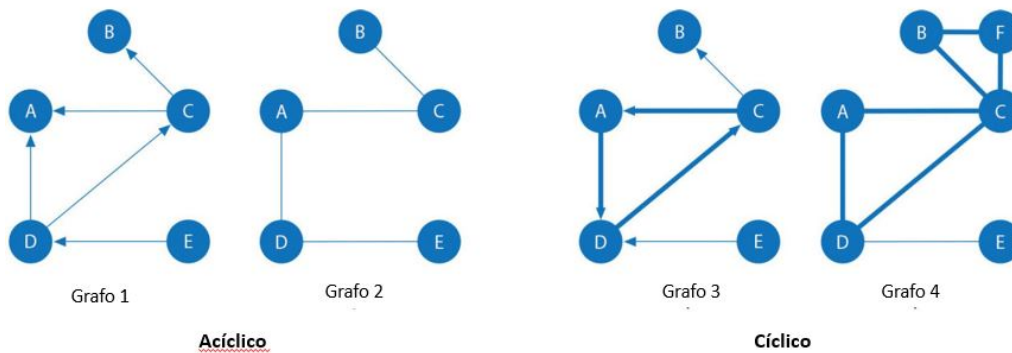


Figura 2.10. Grafos no cíclicos direccional y no direccional (Grafo 1 y 2 respectivamente). Grafos cíclicos direccional y no direccional (Grafo 3 y 4 respectivamente) [4].

Una clase de grafo no cíclico muy usado en la teoría de grafos son los de tipo árbol (*tree*). Además esta clase de grafos suele ser direccional en la mayor parte de los casos. Adicionalmente, los grafos de árbol son muy usados actualmente en el diseño de redes, así como en la organización de sistemas complejos de forma que el conjunto tenga una determinada jerarquía óptima véase Figura 2.11. Existen más tipos de grafos dentro de los de tipo árbol, como los binarios o los de raíces.

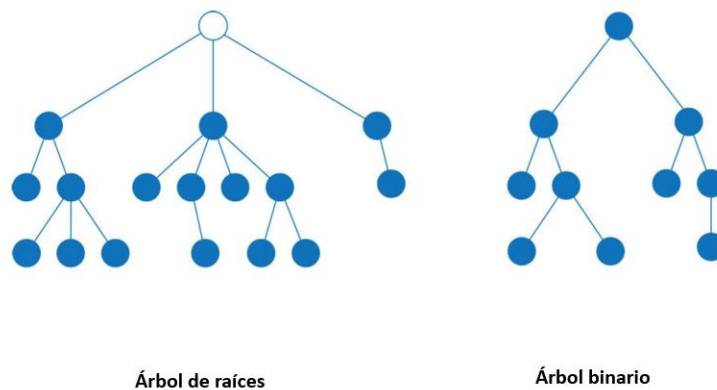


Figura 2.11. Grafo de árbol con raíces (izquierda). Grafo de árbol binario (derecha) [4].

5. La densidad es uno de los principales atributos de una red, y ésta se puede clasificar según este parámetro. Las diferentes clasificaciones existentes se verán más adelante en el apartado de métricas.

2.2. Algoritmos

Las propiedades que tiene un grafo deberían ser conocidas antes de pasar al análisis y comprensión de la red. Estas propiedades son calculadas matemáticamente, por lo que se pueden considerar medidas propias de la teoría de redes. Estas métricas pueden ser divididas en dos grandes grupos dependiendo del nivel que se está estudiando. Existen por tanto, medidas globales a nivel de red que dan información de todo el sistema. Por otro lado, las medidas que se centran en cada nodo en particular, o métricas a nivel de nodo, son aquellas que se particularizan para cada nodo que forme la red. Los algoritmos de la teoría de redes, son los que permiten calcular este tipo de métricas, tanto

a nivel de red como a nivel de nodo. Los principales tipos de algoritmos en este ámbito son los siguientes, y están destinados a:

1. *Pathfindings*: los caminos son parte fundamental a la hora de analizar y estudiar los grafos. Determinar el camino más corto, o menos costoso, es uno de los problemas más estudiados en la teoría de redes. Los algoritmos de *Pathfinding* se centran principalmente en resolver este tipo de problemas. Los principales algoritmos de tipo *pathfinding* son los siguientes:

- *Shortest Path*: calcula el camino más corto entre dos nodos determinados, véase Figura 2.12.
- *All pairs shortest and single source shortest path*: determina los caminos más cortos entre todos los pares de nodos, o de los caminos más cortos de un nodo respecto del resto, véase Figura 2.12.
- *Minimum Spanning Tree*: calcula una estructura de árbol de forma que partiendo de un nodo determinado visitar todos los nodos para que se recorra el camino menos costoso, o más corto, véase Figura 2.12.
- *Random Walk*: algoritmo muy utilizado para programar en una máquina u ordenador los flujos de trabajos más cortos, véase Figura 2.13.

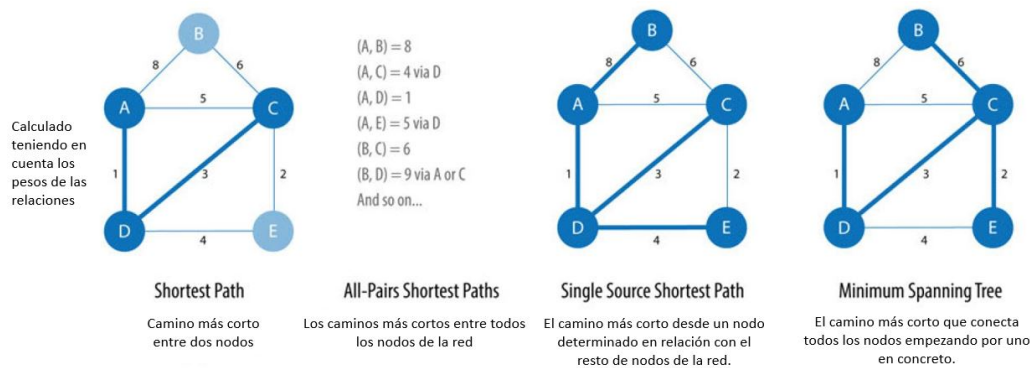


Figura 2.12. Representación esquemática de los algoritmos: *Shortest Path*, *All-Pairs Shortest Paths*, *Single Source Shortes Path* y *Minimum Spanning Tree* (de izquierda a derecha respectivamente) [4].

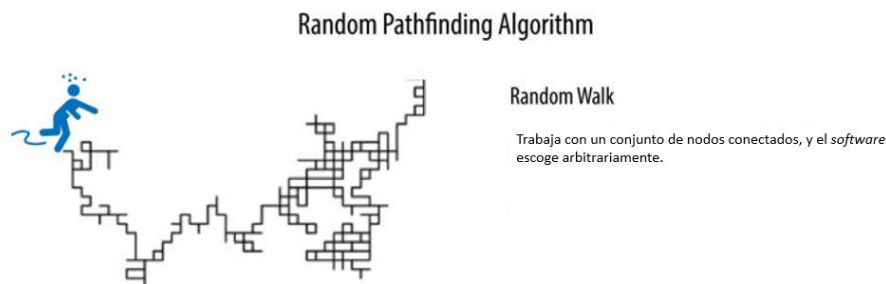


Figura 2.13. *Random Walk*, en este caso el ordenador va explorando distintas rutas y evaluando la más óptima [4].

2. *Centrality*: estos algoritmos cuantifican la importancia de cada nodo individualmente dentro de la red. Pero, un nodo puede ser importante en varios aspectos, es por esto que existen diferentes algoritmos de *centrality*, según qué parámetro se esté considerando. Estos algoritmos se verán

más adelante en mayor profundidad, pues son los que se han usado para este trabajo. La mayor parte de éstos se han desarrollado en el campo del análisis de redes sociales, el cual se va a usar en este trabajo, también se han utilizado en otros sectores.

3. *Community Detection*: la conectividad es un concepto clave en la teoría de grafos, que permite realizar estudios complejos de las redes, como la búsqueda de comunidades. La mayoría de redes reales presentan en su estructura general ciertas subestructuras o incluso subgrafos independientes. La conectividad se usa precisamente, para encontrar comunidades e identificar agrupaciones. Este tipo de análisis puede revelar estructuras invisibles a simple vista en la red, como ciertas jerarquías. La formación de comunidades dentro de una red es un fenómeno muy común en todos los tipos de redes, e identificarlas es esencial para evaluar correctamente el comportamiento del grupo. El principio en el que se basa este concepto, es que existen nodos, o miembros que tienen una mayor relación con ciertas personas o nodos, lo que da lugar a un grupo. El análisis de la información que se halla con esta clase de algoritmos puede revelar no sólo el comportamiento, sino también las preferencias y la calidad de las relaciones de dicha comunidad. Los algoritmos de detección de comunidades más usados son los siguientes:

- Contador de triángulos (*Triangle Count*) y coeficiente de *cluster* (*Clustering Coefficient*), usados para evaluar la densidad de las relaciones. El primer algoritmo cuenta el número de triángulos por los que pasa un nodo, mientras que el coeficiente de *cluster* determina la probabilidad de que los vecinos de un nodo estén conectados entre sí, véase Figura 2.14.
- Componentes conectados (*Connected Components*): utilizados para detectar los distintos subgrupos que existen, véase Figura 2.14.
- *Label propagation*: que estima cómo de rápido se extienden ciertas tendencias o incluso enfermedades, véase Figura 2.15.
- Modularidad de Luvain (*Luvain Modularity*): este algoritmo analiza la jerarquía dentro de la red, véase Figura 2.16.

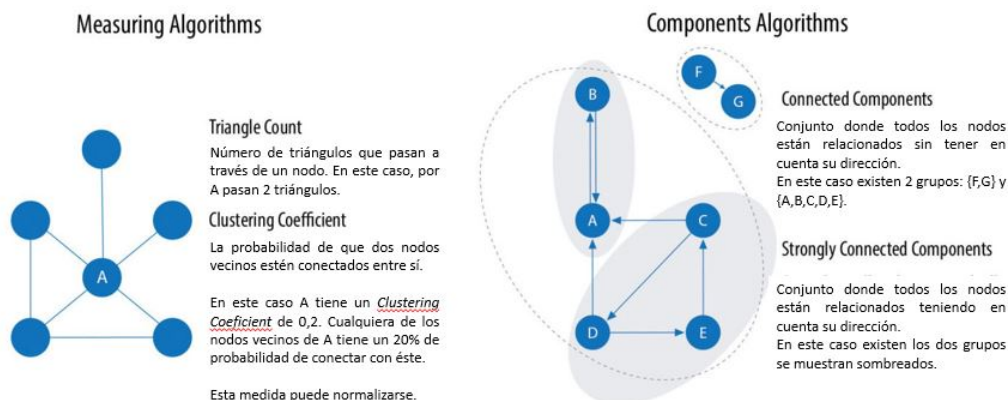


Figura 2.14. Representación esquemática de los dos algoritmos, de contador de triángulos y coeficiente de *cluster* (izquierda). Representación esquemática del algoritmo *Connected Components* (derecha) [4].

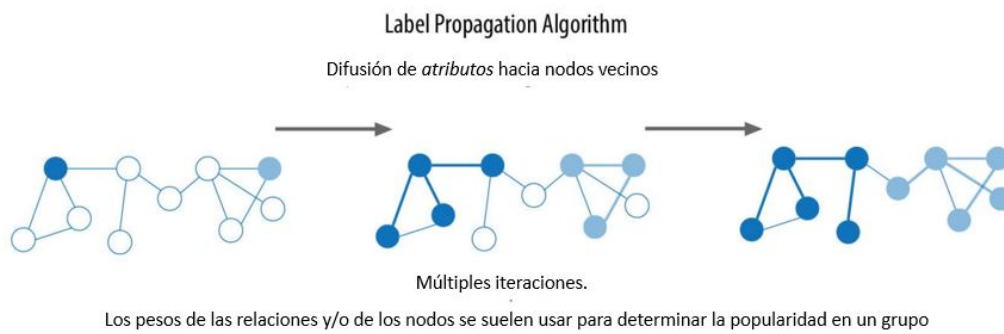


Figura 2.15. Representación esquemática del algoritmo de *Label Propagation* [4].

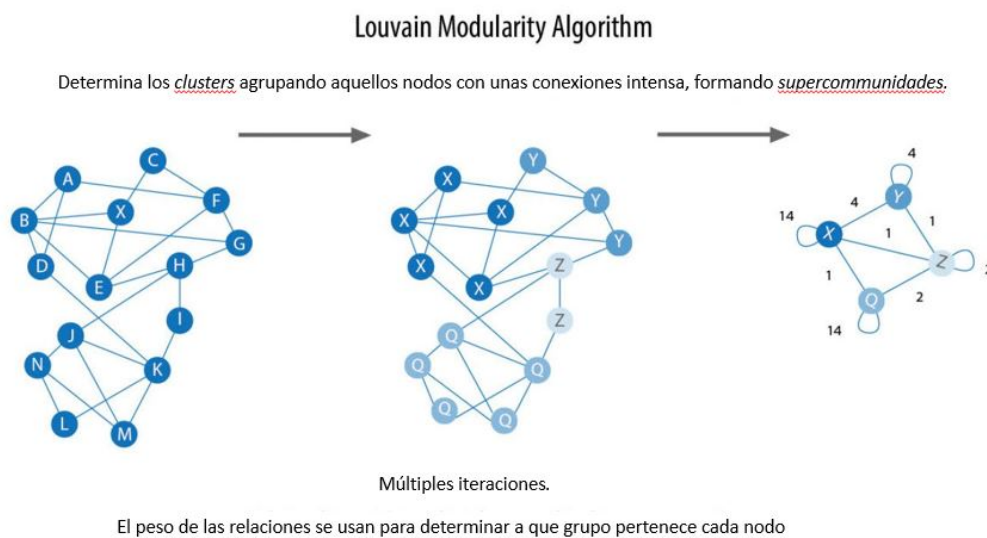


Figura 2.16. Representación esquemática del algoritmo de modularidad de Luvain [4].

2.3. Teoría de Redes Sociales

Una red está formada por nodos y las relaciones que los conectan, como ya se ha visto antes. Una red social, es un tipo específico de red, donde los nodos son agentes conectados entre sí porque tienen alguna relación y que son capaces de tomar decisiones, un ejemplo son las personas o las empresas [57]. El desarrollo de la informática, junto con la aparición de este campo de redes sociales ha permitido profundizar en el estudio de ámbitos como: las estructuras de una comunidad [58], los patrones de comunicación [59], así como el análisis de la propagación de enfermedades [60] o el estudio de las cadenas de suministro [57].

El análisis de redes sociales (SNA por sus siglas en inglés *Social Network Analysis*) estudia estas estructuras sociales aplicando la teoría de grafos. La utilización de SNA permite estudiar los mecanismos de comportamiento de una red, y entender las dinámicas de la misma [61]. Por otro lado, los mecanismos de una red pueden darse a nivel global (nivel de red) o a nivel individual (nivel de nodo). En el ámbito del SNA se han desarrollado unas métricas que permiten estudiar la red bajo estos dos puntos de vista, por lo que éstas también se pueden dividir en aquellas destinadas a nivel de nodo, y de red.

2.3.1. Métricas a nivel de nodo

Identificar qué nodos son claves o tienen una mayor importancia es uno de los principales usos del SNA. El concepto de centralidad (explicado anteriormente) cobra en este caso especial importancia, pues indica la relevancia individual de un nodo dentro de la red, lo que ayuda también a comprender las dinámicas de ésta. Un nodo central tendrá más impacto en el comportamiento de otros en la red que uno con una centralidad más reducida. Sin embargo, decir que un nodo es importante o central es algo subjetivo, por tanto, un nodo será importante según sus atributos que posea. Dado que existen varios parámetros por los que se puede evaluar a un nodo, existen también distintos tipos de centralidad. Los principales son:

1. El grado de centralidad (*Degree Centrality*), véase Figura 2.17. Un nodo puede ser más visible en la red, o más central si se conecta con una multitud de nodos. En este concepto se basa el grado de centralidad, siendo el más sencillo de comprender por su simplicidad [62]. El grado de centralidad se calcula según la ecuación 2.1.

$$C_D(n_i) = \sum_j x_{ij} = \sum_j x_{ji} \quad (2.1)$$

donde x_{ij} es la variable binaria que es igual a 1 si existe conexión entre los nodos n_i y n_j o 0 en caso contrario, C_D es el grado de centralidad de un nodo n_i en un grafo no direccional. No obstante, hay que tener en cuenta que en un grafo direccional (como es el caso que se va a tratar en este TFM) los sumatorios de x_{ij} y x_{ji} no son iguales.

Comparar grafos distintos con estas métricas no es posible, por lo que es necesario normalizarlas. El grado de centralidad normalizado se calcula como muestra la siguiente expresión (Ecuación 2.2) [57].

$$C'_D(n_i) = \frac{C_D(n_i)}{g-1} \quad (2.2)$$

donde g es el número de nodos que tiene la red.

2. El grado de cercanía (*Closeness Centrality*), véase Figura 2.17. Esta métrica determina cómo de cerca está un nodo del resto. Según esto, un nodo es relevante si la separación media con los otros nodos en la red es mínima, es decir, los caminos (*path*) entre un nodo importante y el resto atraviesa una cantidad pequeña de nodos. Este tipo de centralidad está asociada a la independencia que tiene este nodo, pues tiene una mayor influencia en las acciones del resto [62]. El grado de cercanía se calcula según la ecuación 2.3.

$$C_C(n_i) = \left[\sum_{j=1}^g d(n_i, n_j) \right]^{-1} \quad (2.3)$$

donde $\sum_{j=1}^g d(n_i, n_j)$ es la distancia total entre el nodo n_i y el resto de nodos, y $C_C(n_i)$ es el grado de cercanía.

El grado de cercanía tiene un máximo $(g-1)^{-1}$, cuando el nodo n_i es adyacente al resto de los nodos del grafo, es decir, está conectado con todos. Esta métrica se puede normalizar tal y como se muestra a continuación (Ecuación 2.4) [57].

$$C'_C(n_i) = C_C(n_i) \cdot (g-1) \quad (2.4)$$

3. El grado de intermediación (*Betweenness Centrality*), véase Figura 2.17. Este tipo de centralidad mide cómo de frecuente es que un determinado nodo se encuentre en el camino más corto que conecta otros dos nodos. Esta métrica se centra en la acción del nodo como intermediario. Un nodo con elevado grado de intermediación implica una alta influencia o control, pues tiene una gran capacidad de facilitar o evitar relaciones entre nodos [62]. El grado de intermediación se calcula según la ecuación 2.5.

$$C_B(n_i) = \sum_{j < k} \frac{g_{jk}(n_i)}{g_{jk}} \quad (2.5)$$

donde g_{ij} es la cantidad de conexiones posibles entre dos nodos, $g_{jk}(n_i)$ es el número de estas conexiones que pasan por el nodo n_i , y $C_B(n_i)$ es el grado de intermediación.

Esta métrica se puede normalizar según la ecuación 2.6 [57].

$$C'_B = \frac{C_B(n_i)}{[(g-1)(g-2)/2]} \quad (2.6)$$

donde C'_B es el grado de intermediación normalizado.

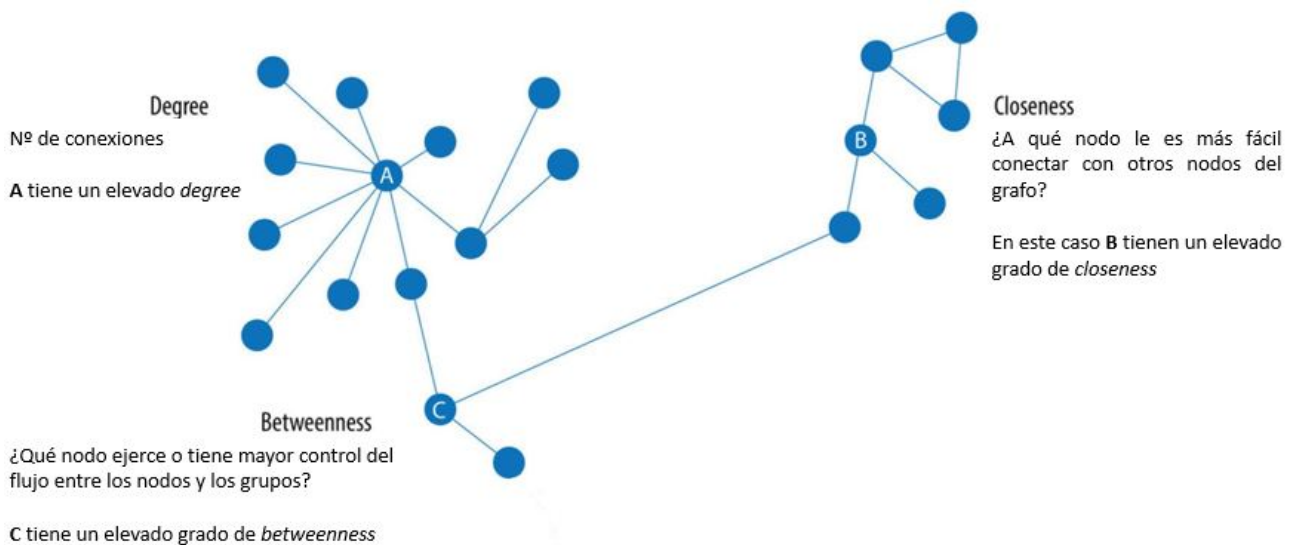


Figura 2.17. Representación esquemática de los distintos conceptos de: grado de centralidad, intermediación y cercanía [4].

2.3.2. Métricas a nivel de red

El SNA facilita las herramientas necesarias para analizar una red a nivel global. Las principales métricas que determinan los atributos a nivel de red, son la densidad, la centralidad de la red y la complejidad de la misma.

Densidad

Una de las principales métricas a nivel de red que se conocen es la densidad del grafo. Una red puede ser densa o dispersa según sea este parámetro. La densidad en un grafo se define como el número de relaciones existentes en la red entre la cantidad de conexiones potenciales (Ecuación 2.7) [63]. Las redes se pueden clasificar según su densidad en dispersas, densas y completas o *clique*, véase Figura 2.18.

$$\left\{ \begin{array}{l} D = \frac{R}{MaxD} \\ MaxD = \frac{N(N-1)}{2} \end{array} \right\} \longrightarrow D = \frac{2 \cdot R}{N(N-1)} \quad (2.7)$$

donde R es el número de relaciones existentes, $MaxD$ es la cantidad máxima de conexiones que pueden existir en la red y N el número de nodos.

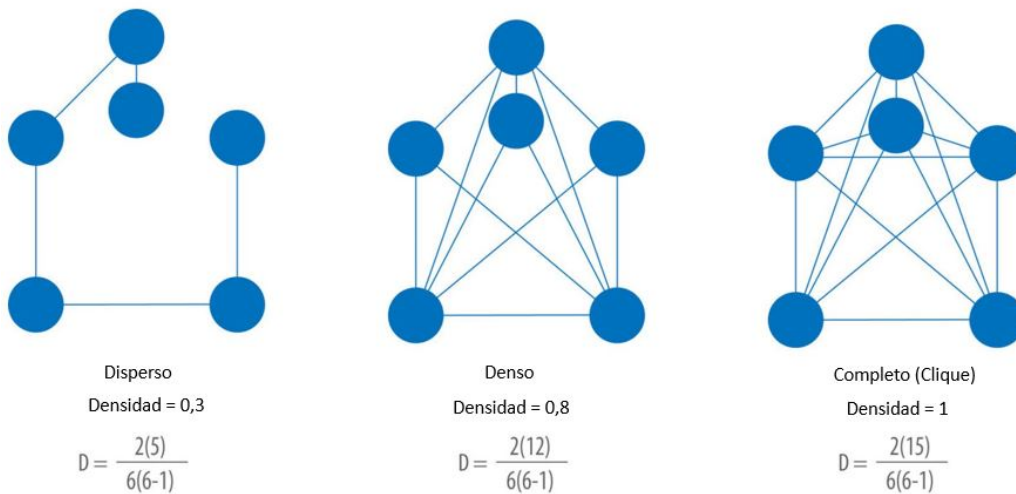


Figura 2.18. Grafo disperso (izquierda), denso (centro) y completo (derecha) [4].

No existe un límite que divida qué es disperso o denso. No obstante, la mayoría de grafos que se basan en redes reales tienden a ganar dispersión de forma aproximadamente lineal en relación al total de nodos que lo componen, especialmente en los casos donde se tienen elementos físicos, como distancias.

Centralidad de la red

La centralidad de red capta si la red está organizada en torno a determinados nodos de una red en términos generales [64]. Por otro lado, este parámetro puede ser visto como una extensión del grado de centralidad a nivel de nodo, pues usa esta última métrica para su cálculo (Ecuación 2.8) [62].

$$C_D = \frac{\sum_{j=1}^g (C_D(n^*) - C_D(n_i))}{\max \sum_{j=1}^g (C_D(n^*) - C_D(n_i))} \quad (2.8)$$

donde g es el número de nodos, $C_D(n_i)$ es el grado de centralidad del nodo n_i , $C_D(n^*)$ es el máximo grado de centralidad en la red y $\max \sum_{j=1}^g (C_D(n^*) - C_D(n_i))$ es la máxima suma de las diferencias entre el nodo con el valor máximo de centralidad y el nodo n_i .

La densidad que tiene una red y su centralización están relacionadas. Este último parámetro se centra en cómo se distribuye el poder en la red, la densidad refleja el grado de interrelación entre nodos. Una red donde todos los nodos se conecten con el resto, tiene una densidad de uno, y por tanto su centralidad es muy baja, pues no existe un nodo central que tenga influencia sobre la mayoría de conexiones.

Complejidad de la red

La complejidad de una red depende del número de relaciones de dependencia que existen en una red [65]. Este parámetro depende de los otros dos anteriores, la densidad y la centralidad de la red. En primer lugar, la densidad está relacionada con la complejidad, pues cuanto mayor es la primera, más dificultoso se vuelve el análisis de dicha red, y por tanto más compleja. En segundo lugar, una grafo con alto grado de centralización, indica que unos pocos nodos controlan las principales conexiones, ejerciendo su influencia sobre la mayoría de nodos, lo que resulta en una simplificación de la red, pues estudiando a los nodos centrales se conoce casi totalmente los atributos de la red [57].

Capítulo 3

Contaminación atmosférica en la industria del transporte marítimo.

El costo del combustible supone la mayor parte del coste operativo de un barco. La mayoría de los buques utilizan fuel pesado para hacer funcionar sus motores, pues su bajo precio abarata mucho esta actividad. Las características principales de estos combustibles son su alta viscosidad, su elevada volatilidad y su alto contenido en sulfuros y partículas metálicas. Durante el proceso de combustión del fuel pesado se producen cantidades significativamente elevadas de: humo negro, materia particulada (PM por sus siglas en inglés *Particulate Matter*), óxidos de nitrógeno, hidrocarburos inquemados, óxidos de azufre, monóxido de carbono y dióxido de carbono, véase Figura 3.1. Este conjunto de gases propician el deterioro de la capa de ozono, el aumento del efecto invernadero y la lluvia ácida, además de ser altamente nocivos para la salud [66].

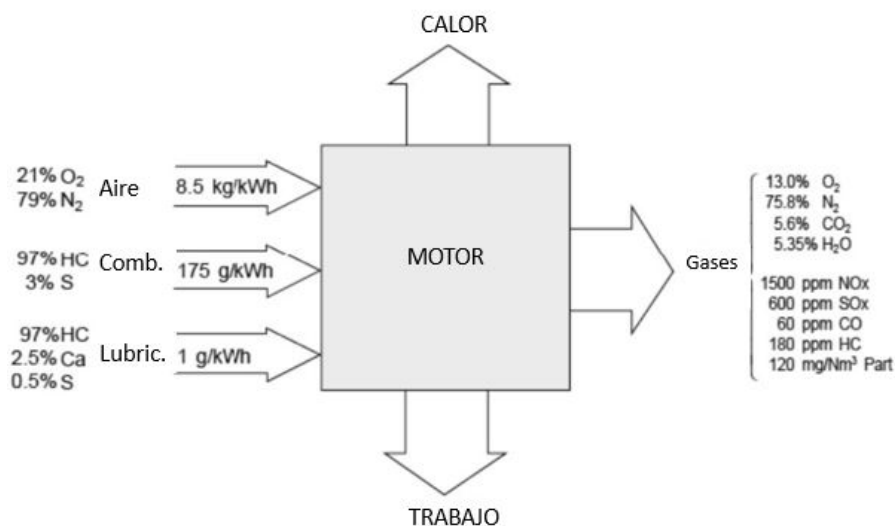


Figura 3.1. Esquema general de funcionamiento de un motor diésel lento, y gases de exhaustación que genera [5].

El impacto que tiene la contaminación del aire sobre la salud es significativo, especialmente en regiones costeras e industrializadas, donde las emisiones de los barcos, camiones, trenes y equipos de carga y descarga propician el aumento de la contaminación. Esta concentración excesiva de emisiones contaminantes no sólo afecta a los trabajadores, sino también a las personas que viven en las

cercanías del puerto. La existencia de numerosos estudios demuestran que los gases de exhaustación provenientes de la combustión del diésel aumentan significativamente el riesgo de padecer cáncer de pulmón [67]. No obstante, es posible argumentar que el tiempo que pasa el barco en alta mar es demasiado alto como para afectar de alguna forma a la salud de las personas, pero la realidad es que los buques tan solo pasan el 20 % del tiempo en alta mar y lo suficientemente lejos de tierra [50].

3.1. Medidas internacionales

La Organización Marítima Internacional (OMI) es el organismo especializado de las Naciones Unidas responsable no sólo de la seguridad y protección de la navegación, sino también de prevenir la contaminación del mar producida por los buques. La OMI creó una institución (MEPC, por sus siglas en inglés *Marine Environment Pollution Committee*) y un reglamento (MARPOL de la abreviatura de *Marine Pollution*) que vela por el cuidado del medio regulando las distintas formas de contaminación que pueden darse cuando un buque lleva a cabo su actividad. El comité de contaminación marítima (MEPC), el cual es una organización dependiente de la OMI, es específicamente el responsable de elaborar regulaciones que prevengan a los barcos de contaminar los océanos y la atmósfera [12]. El MARPOL, o Convenio Internacional para prevenir la contaminación por los buques se adoptó en 1973 y ha sido actualizado a base de apéndices y enmiendas.

El anexo VI del MARPOL es el que regula las emisiones generadas por los buques, fue adoptado en 1997 y es el que se va a utilizar en este trabajo pues establece los límites máximos de gases nocivos que se pueden emitir en la actividad marítima. Estas regulaciones para prevenir la contaminación del aire se dividen en los siguientes capítulos:

- Capítulo 1: General.
- Capítulo 2: Certificación y Medidas de control.
- Capítulo 3: Requerimientos para el control de emisiones del barco.
- Capítulo 4: Regulaciones sobre la eficiencia energética.
- Capítulo 5: Verificación del cumplimiento de las disposiciones del presente anexo.
- Apéndices.

3.2. Estrategias para la disminución de emisiones

Las distintas estrategias posibles para el control y reducción de emisiones en los barcos se pueden clasificar en tres tipos, véase Tabla 3.1.

- Mejoras tecnológicas: pueden reducir las emisiones tanto a nivel global como local mediante la supresión de motores poco eficientes, o la implementación de sistemas que hagan esto posible.
- Los cambios operacionales: reducen las emisiones contaminantes en el ámbito local mediante la modificación de la operativa de los barcos en la entrada y salida del puerto.

- Las estrategias de mercado: las tasas portuarias variables y los programas de comercio de emisiones, pueden estimular tanto los cambios operativos como los tecnológicos si están bien diseñados e implementados.

Tabla 3.1. Estrategias, y principales medidas propuestas para cada una de éstas [12].

Estrategia	Estrategias tecnológicas	Estrategia operacional	Estrategias de mercado
Medidas	Combustibles con menos azufre Sistemas de reducción de emisiones	Reducción voluntaria de velocidad Conexión a la corriente del puerto	Tasa para los buques más contaminantes Sistema de bonos de contaminación

3.2.1. Estrategias tecnológicas

El sector marítimo está considerado como una industria que aporta grandes cantidades de emisiones contaminantes debido al uso de combustibles de baja calidad, y regulaciones poco estrictas durante el siglo XX. Las navieras y armadores pueden aplicar una gran variedad de estrategias tecnológicas para reducir las emisiones de los barcos. La más inmediata y efectiva sería la sustitución de motores poco eficientes por otros con mayor eficiencia. Muchos estudios señalan a las turbinas de gas una posible solución debido a que las emisiones de éstas pueden considerarse limpias. No obstante, el coste de esta medida sería excesivo en algunos casos por lo que existen otras opciones como el uso de mejores combustibles y sistemas de reducción de elementos contaminantes. Estas estrategias generalmente se centran en las emisiones de NO_x y SO_x , véase Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Principales métodos de reducción de SO_x y NO_x [13].

Técnicas de reducción de gases	Reducción de NO_x	Reducción de SO_x
Modificación de motores	-20 %	
Recirculación de gases de escape	-35 %	
Inyección directa de agua	-50 %	
Reducción Catalítica	-90 %	
Scrubbers marinos		-95 %
Emulsificador de fuel	-10 %	
Wetpac	-50 %	

Combustibles de más calidad

La principal alternativa a los sistemas de reducción de emisiones es el uso de combustibles más destilados. Una demostración de ello es que el transporte por carretera consume muchas más toneladas de combustible que el marítimo, por lo que sería fácil pensar que las emisiones serán también mucho mayores en el primer caso. La realidad es que ni el NO_x , ni el SO_x cumplen esta expectativa, tan solo el CO_2 , véase Figuras 3.2 y 3.3). Esto es debido a que el combustible usado en el transporte por carretera contiene una considerablemente menor cantidad de nitrógenos y sulfuros.

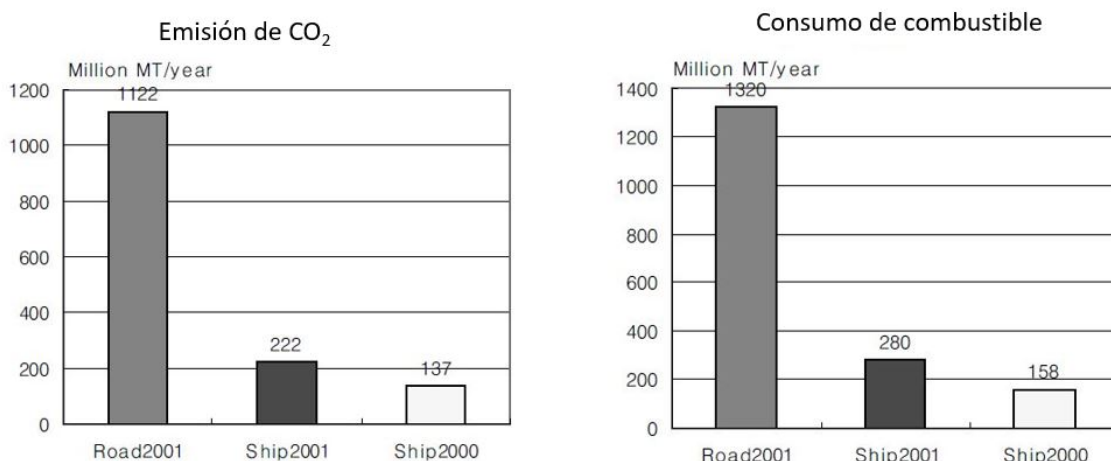


Figura 3.2. Millones de toneladas métricas CO₂ emitido a la atmósfera (izquierda). Consumo de millones de toneladas métricas de fuel [6]

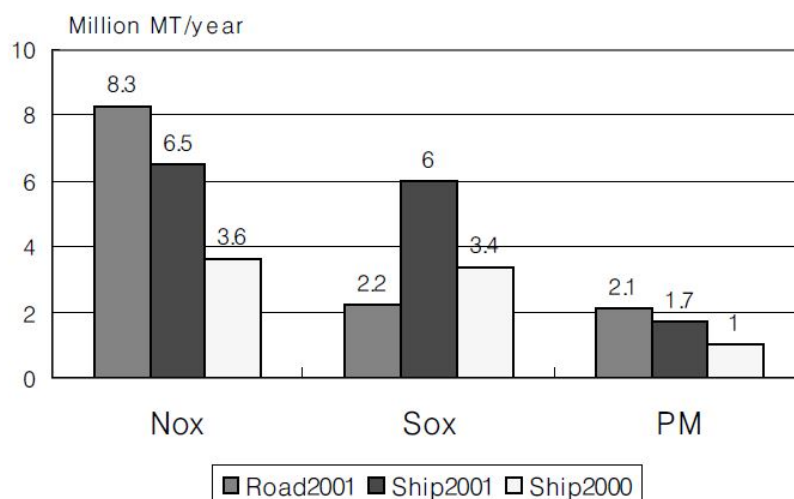


Figura 3.3. Comparativa de los millones de toneladas métricas de gases procedentes de la combustión del fuel emitidos a la atmósfera por distintos medios de transporte [6].

La principal desventaja del uso de combustibles más destilados se debe a que la mayor parte del coste operativo de un barco es precisamente el combustible, por lo que aumentar la calidad del mismo supone también multiplicar el gasto operacional del barco. No obstante, el uso de hidrocarburos como el MGO (*Marine Gas Oil*) más destilados que el fuel pesado presenta ciertas ventajas:

- El uso de MGO reduce las emisiones de SO_x, materia particulada y NO_x entre un 70-80 %, más de un 80 % y en torno un 15 % respectivamente, sin necesidad de instalar plantas de tratamiento de residuos a bordo.
- El consumo de MGO reduce la cantidad de combustible necesario un 5 % debido a su mayor poder calorífico.
- No genera residuos.
- Las modificaciones de los motores para el uso del MGO incurren en un coste, pero es mínimo en comparación con la adaptación necesaria para los *scrubbers*.

El uso de GNL (gas licuado a presión) se está empezando a considerar como una alternativa a todo lo anterior debido a la considerable reducción de emisiones, ya que elimina completamente el SO_x materia particulada, reduce el NO_x en un 85 % y el CO_2 en un 20 %. Actualmente, ya existen buques que utilizan GNL, como *ferrys*, portacontenedores e incluso cruceros como el *Costa Smeralda*. La propulsión a gas lleva funcionando varias décadas, pero principalmente en los buques gaseros. El GNL como combustible tiene que ir acompañado de una evolución en las instalaciones de los puertos que permitan el abastecimiento de éste, además de la instalación de motores duales que permitan usar tanto gas como diésel [68].

Emisiones de NO_x

Los óxidos de nitrógeno son generados por la combustión del N_2 y O_2 cuando este proceso se produce a temperaturas elevadas. Las emisiones de NO_x aumentan con la temperatura de combustión, el tiempo que dure dicho proceso, y la cantidad de oxígeno presente [69]. Las partículas de NO_2 que llegan a la atmósfera reaccionan con el vapor de agua formando ácido nítrico, propiciando así la lluvia ácida. Ésta es una de las múltiples consecuencias negativas que tiene la emisión descontrolada de este gas, no sólo al medio, sino también a la salud [69].

La regla 13 del tercer capítulo en el anexo VI del MARPOL, establece los límites de NO_x y qué barcos tienen que cumplir dicha restricción (Tabla 3.3). Este reglamento también establece las áreas donde se tiene restricciones de emisiones, las llamadas zonas ECA (*Emission Control Area*) [14].

Tabla 3.3. Limitación de emisión del NO_x según el MARPOL [14].

Tier	Año de construcción del barco o fecha posterior	Cantidad total de la emisión (g/kWh) n = velocidad del motor (rpm)		
		n < 130	n = 130 - 1999	n > 2000
I	1 de Enero del 2000	17,0	$45 \cdot n^{-0,2}$	9,8
II	1 de Enero del 2011	14,4	$44 \cdot n^{-0,23}$	7,7
III	1 de Enero del 2016	3,4	$9 \cdot n^{-,24}$	2,0

La reducción de emisiones de NO_x se puede conseguir con los siguientes métodos, los cuales se pueden dividir en medidas primarias y secundarias:

1. Medidas primarias: persiguen la reducción de temperatura en la cámara de combustión modificando sólo parámetros del motor. Las principales alternativas se enumeran a continuación, aunque existen más:
 - Cambios en la fase de inyección: un retraso de este proceso produce un pico menor de presiones, y por tanto de temperaturas. Se ha demostrado que el retraso de la inyección 7° aplicado a un motor MAN B&W 4T50MX consigue una reducción de en torno a un 30 % [70].
 - Modificaciones en los inyectores: una variación en el ángulo del cono de difusión que tienen estos elementos puede disminuir la emisión de NO_x . De hecho, este método se aplicó a un MAN B&W RK215, y se observó que disminuyendo el ángulo del cono 10° (de 140° a 130°) la disminución del NO_x era del 32 % [71].

- Enfriamiento del aire de carga: con ello se consigue reducir la temperatura máxima del cilindro bajándola antes de la compresión [69].
- Ciclo Miller: consiste en cerrar la válvula de entrada antes de que el pistón llegue al punto muerto inferior. El aire de carga entonces se expande dentro del cilindro del motor mientras el pistón se mueve hacia el punto muerto inferior de lo que resulta una reducción de presión, y por tanto de temperatura. A pesar de que este método reduce el NO_x , genera más humos [69].
- Inyección de agua: la introducción de H_2O en la cámara de combustión reduce la formación de NO_x debido a que la capacidad calorífica específica global es mayor (el agua tiene una capacidad calorífica específica mayor que el aire) lo que reduce la concentración de oxígeno. La influencia del agua varía según el tipo de motor, pero generalmente la adición de un 1 % de agua en la mezcla, reduce un 1 % el NO_x . Existen diferentes formas de introducir el agua en la cámara de combustión: emulsión de fuel-agua, la inyección directa del agua o la humidificación [5].
- Recirculación de los gases de escape (EGR por sus siglas en inglés *Exhaust gas recirculation*): esto baja la temperatura de combustión, y por tanto, la cantidad de NO_x . Este método se ha aplicado, logrando reducciones del 22 % en el NO_x emitido, tan sólo con un 6 % de EGR en el aire de carga (comburente) para el motor sulzer 4RTX54. No obstante este método aumenta las emisiones de hidrocarburos inquemados, y CO [72].

Los métodos anteriores se pueden combinar, de hecho, se ha estudiado el EGR combinado con el ciclo Miller en un motor marino Wärtsilä W20, obteniendo una reducción de NO_x por encima de 90 % [73].

2. Medidas secundarias: la más empleada en motores marinos es la reducción catalítica selectiva (SCR por sus siglas en inglés *Selective Catalytic Reduction*). El SCR consiste en la mezcla del gas de exhaustación con amonio y pasando a través de un catalizador. El amonio generalmente se obtiene de una solución de urea y agua. Para evitar el desgaste prematuro es necesario utilizar fuels con bajos contenidos en azufre. De acuerdo con los fabricantes MAN B&W [74] y Wärtsilä [75], este sistema es capaz de eliminar más del 90 % de NO_x (Figura 3.4).

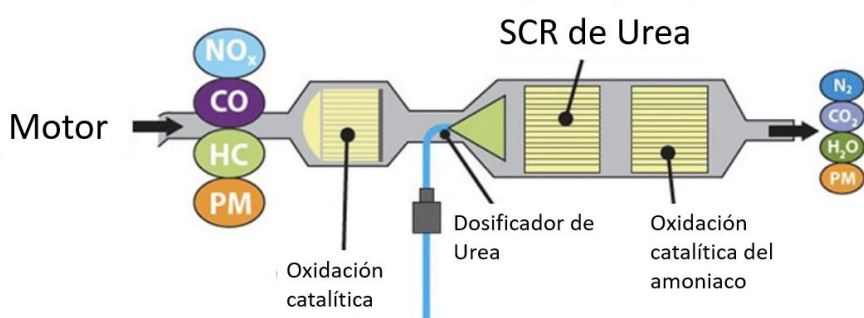


Figura 3.4. Esquema del funcionamiento del método SCR para reducir las emisiones de NO_x de los buques [7].

Emisiones de SO_x

Al igual que antes con el nitrógeno, los óxidos de azufre son generados por la combustión del S_2 y O_2 . Las partículas de SO_2 que salen por los conductos de exhaustación a la atmósfera reaccionan con el vapor de agua formando ácido sulfúrico, que junto con el nítrico acaban propiciando la lluvia

ácida. Además, otro de los problemas que presenta el uso de combustibles con elevados porcentajes de azufre, es que los conductos de escape se corroen más rápidamente pues las pequeñas gotas de ácido sulfúrico que salen por estos conductos acaban por deteriorarlos.

La regla 14 del tercer capítulo que está en el Anexo VI del MARPOL establece las distintas normativas sobre la emisión de óxidos de azufre, y de materia particulada [14]. En términos generales este apartado del reglamento indica respecto del SO_x que:

1. El fuel que consume el barco no puede exceder el 0,5 % de contenidos en azufre.
2. Restricciones establecidas en las áreas de emisiones controladas (zonas ECAS por sus siglas en inglés *Emission Control Areas*) (Tabla 3.4). En estas áreas, el fuel consumido por los barcos no tiene que superar el 0,1 % de contenido en azufre.

Tabla 3.4. Zonas de control de emisiones de SO_x y materia particulada [15] .

Zonas	Adopción	Entrada en vigor	Con efecto desde
Mar Báltico	26 sept 1997	19 may 2005	19 may 2006
Mar del Norte	22 jul 2005	22 nov 2006	22 nov 2007
Norte América	26 mar 2010	1 ago 2011	1 ago 2012
Caribe	26 jul 2011	1 ene 2013	1 ene 2014

Las formas de lograr una reducción significativa de emisiones de SO_x son principalmente dos: aumentar la calidad del combustible que se usa en la navegación (que se ha visto anteriormente) o utilizar *scrubbers*. Los sistemas marinos que limpian los gases de escape, o *scrubbers* eliminan los óxidos de azufre presentes en los gases de exhaustación que expulsan los motores y las calderas. La instalación del primer prototipo de *scrubber* a bordo de un buque tuvo lugar en 1991, a pesar de que esta tecnología se utilizaba desde 1930 en instalaciones terrestres. Actualmente, existen en el mercado numerosas compañías que comercializan este sistema.

Los tipos de *scrubbers* marinos son tres, no obstante el principio de funcionamiento de los tres tipos es el mismo. Primeramente, los gases de escape procedentes del motor se hacen pasar por un reactor en el que se pulveriza agua. Las partículas de SO_x son capturadas y arrastradas por el agua, de forma que el resto los gases de exhaustación quedan libres de este SO_x . A continuación, el agua que arrastra el SO_x se lleva a un depósito donde es tratada, de forma que se separen los residuos, y se ajuste el PH (el SO_x al juntarse con agua forma el ácido sulfúrico). En tercer lugar, una vez filtrado y tratado el fluido puede retornar al mar, o volver al reactor del primer paso, dependiendo del tipo de *scrubber* [76].

Los *scrubbers* marinos se pueden agrupar en tres clases principales:

- Circuito abierto de agua salada: este sistema usa el agua del mar como fluido de lavado. Una vez depurados los gases de exhaustación, el agua salada se lleva a un sistema de tratamiento donde los materiales sólidos son transportados a tanques, que posteriormente se descargan en el puerto. A continuación, el agua y las partículas de SO_x han formado ácido sulfúrico, disminuyendo el PH de la disolución, por lo que para eliminar el carácter ácido del líquido se mezcla con agua dulce antes de devolverla al mar (Figura 3.5). Los *scrubbers* de este tipo

basan su funcionamiento en la alcalinidad del agua, por lo que en zonas de baja alcalinidad su efectividad disminuye, como sucede en el Báltico [8].

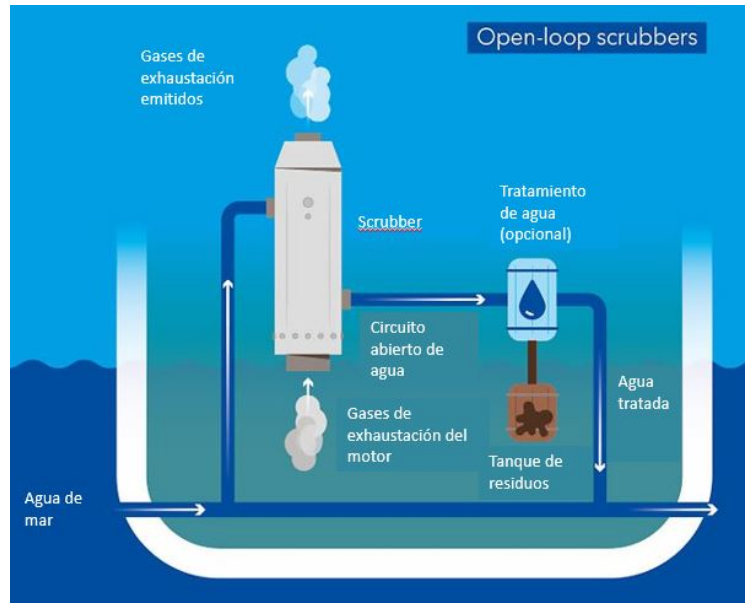


Figura 3.5. Esquema de funcionamiento de un *scrubber* abierto [8].

- **Circuito cerrado de agua dulce:** este sistema utiliza una solución alcalina de agua dulce con sosa cáustica (NaOH), la cual neutraliza los componentes de SO_x de las emisiones. Posteriormente, el fluido de lavado se lleva a un tanque de procesamiento donde se lava con agua dulce y se vuelve a mezclar con sosa. Este proceso implica que parte de la solución no pueda volver a ser utilizada, llevando un tanque especial para su almacenamiento y posterior descarga en el puerto (Figura 3.6). Esta clase de *scrubbers* tienen que controlar la temperatura, pues es necesaria para el correcto manejo de la unidad de sosa [8].

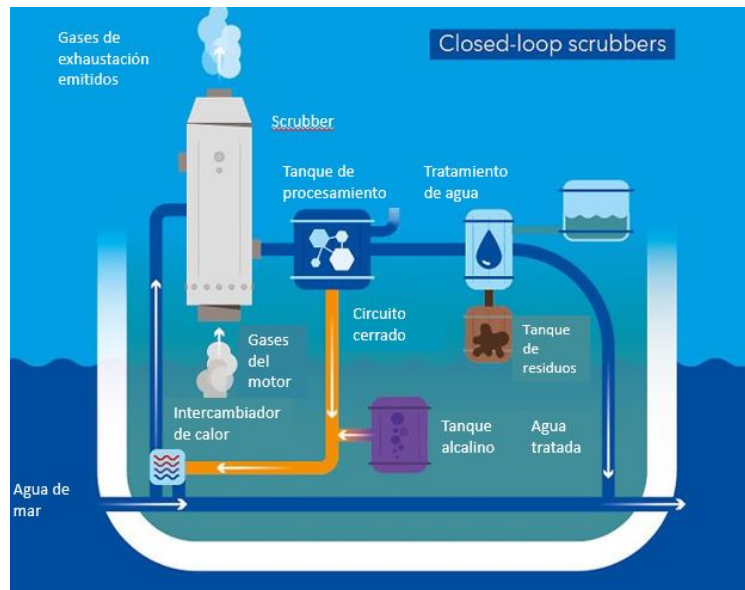


Figura 3.6. Esquema de funcionamiento de un *scrubber* cerrado [8].

- **Ciclo híbrido:** este sistema permite un funcionamiento flexible pudiendo operar en modo abierto o cerrado. La ventaja de este tipo de *scrubber* es precisamente operar en circuito cerrado

cuando el agua es de alcalinidad reducida, o las regulaciones locales no permitan descargas. No obstante, el inconveniente es su mayor coste y cantidad de equipos a bordo [8].

El uso de este sistema en términos generales conlleva una serie de ventajas e inconvenientes:

■ Ventajas:

- Eliminación de la mayor parte de materia particulada y SO_x .
- La instalación de este sistema se puede hacer en barcos ya construidos.
- Poco mantenimiento.
- Mayor tolerancia ante distintos rangos de humedad y temperatura, comparado con otros sistemas anti polución.

■ Inconvenientes:

- No garantiza la eliminación de los NO_x , por lo que se hace necesario la instalación de otro sistema para cumplir la regla 13.
- La descarga al mar del agua empleada para el lavado de los gases (*scrubbers* abiertos) o el tratamiento de la sosa (*scrubbers* cerrados).
- Esta instalación debe de situarse en las zonas más elevadas del buque, lo que puede comprometer a la estabilidad transversal, especialmente en los barcos de menor tamaño.
- Concentración de altas sustancias corrosivas en el interior del sistema.
- Alta caída de presión en los conductos de exhaustación.
- Generación de residuo líquido que contiene partículas o compuestos tóxicos.
- Coste de instalación.

3.2.2. Estrategias operacionales

La mayoría de cambios operacionales para la reducción de emisiones generalmente se centran en las medidas mientras el buque está en el puerto. Los operadores del puerto requieren de cierta tecnología para llevar a cabo medidas como el *cold ironing*, la cual consiste en conectar el barco con una toma de red del puerto. Otra posible estrategia es la disminución voluntaria de velocidad en zonas cercanas al puerto, pues se estima que esta medida consiguió una disminución del 4-8% de NO_x cuando se implantó en el puerto de Los Angeles y *Long Beach* [12].

3.2.3. Estrategias basadas en el mercado

Este tipo de estrategias pueden implementarse localmente, o en el ámbito internacional. Un ejemplo de estas estrategias a nivel local sería la imposición de tasas variables destinadas a recompensar a los buques de bajas emisiones y/o de alta eficiencia (y, a la inversa, penalizar a los buques de altas emisiones y/o de baja eficiencia). Otro mecanismo basado en el mercado para abordar las emisiones de gases de efecto invernadero es un sistema de límites máximos de emisiones. En este método una autoridad, generalmente un gobierno o un organismo internacional, establece un límite

o tope a la cantidad de un contaminante que puede ser emitida. A las empresas u otros grupos se les expiden derechos de emisión y se les exige que posean un número equivalente de derechos, por tanto, las compañías que necesiten emitir más gases contaminantes puedan comprar estos bonos o derechos de emisión a otra compañía que no los necesite.

Capítulo 4

Materiales y métodos

4.1. Recolección y tratamiento de datos

Antes de comenzar, ha de hacerse una pequeña aclaración con el objetivo de simplificar al lector la tarea de comprender este capítulo. Los datos que se han utilizado consisten en cinco matrices para cada puerto (una cada año) de tres columnas por n filas (tantas como escalas de cruceros se diesen ese año). La información de las columnas consistía en: barco, puerto anterior, y puerto posterior, véase Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Matriz de datos utilizada en el trabajo para un año y puerto concreto.

Escala	Barco	Puerto anterior	Puerto posterior
1	Crucero 1	Puerto anterior 1	Puerto posterior 1
2	Crucero 2	Puerto anterior 2	Puerto posterior 2
...
n	Crucero n	Puerto anterior n	Puerto posterior n

4.1.1. Base de datos portuarios del mercado de cruceros Europeo

Los datos utilizados en este trabajo han sido obtenidos de dos formas distintas: por una parte los datos facilitados por los puertos, y por otra aquellos extraídos de páginas *webs* donde algunas autoridades portuarias los publican. El *software* que se va a usar para recoger y almacenar la base de datos es *Excel* 2016, donde las columnas siguen este el orden que aparece en la figura 4.1.

Puerto actual	Buque	Fecha Llegada	Hora Llegada	Fecha Salida	Hora Salida	Puerto Anterior	Puerto Posterior	Segmento	Naviera
Amsterdam	Columbus	06/01/2019	12_15_00	06/01/2019	20_00_00	Tilbury	Ponta Delgada	Expedition	Cruise & Maritime Voyages
Amsterdam	Mein Schiff 2	01/02/2019	7_00_00	01/02/2019	23_59_00	Zeebrugge	Bremerhaven	Premium	TUI Cruises
Amsterdam	Ventura	03/02/2019	7_45_00	03/02/2019	22_00_00	Zeebrugge	Southampton	Premium	P & O Cruises
Amsterdam	Boudicca	16/02/2019	7_45_00	16/02/2019	16_00_00	Amberes	Dover	Premium	Fred Olsen Cruise Line
Amsterdam	Boudicca	29/03/2019	13_00_00	30/03/2019	12_59_00	Copenhague	Dover	Premium	Fred Olsen Cruise Line
Amsterdam	Magellan	04/04/2019	9_45_00	04/04/2019	20_00_00	Tilbury	Kirkwall	Expedition	Cruise & Maritime Voyages
Amsterdam	Boudicca	05/04/2019	6_45_00	06/04/2019	16_00_00	Rotterdam	Dover	Premium	Fred Olsen Cruise Line

Figura 4.1. Primeras escalas del 2019 para el puerto de Amsterdam.

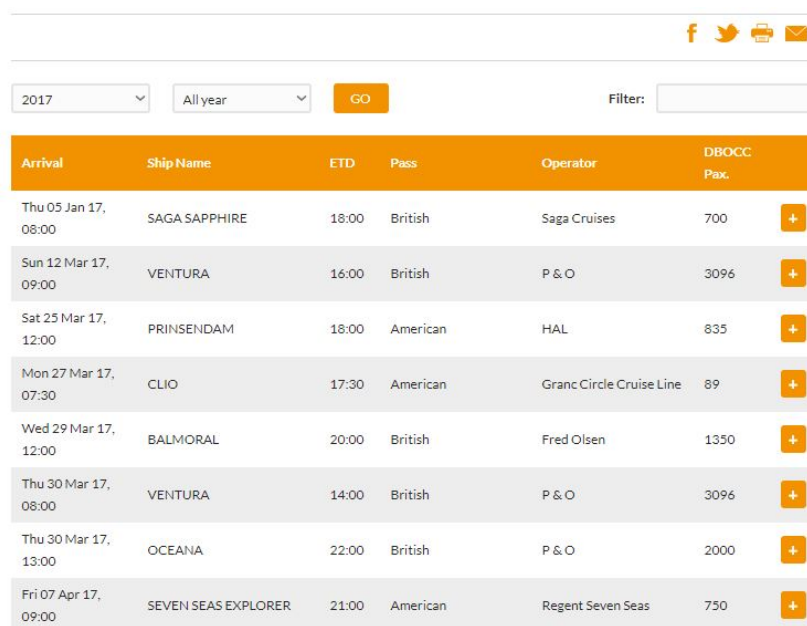
Los puertos cuya información han compartido o se ha podido conseguir son los que aparecen a continuación:

- Amsterdam [77].
- Arrecife [78].
- Barcelona [79].
- Bari [80].
- Cádiz [81].
- Corfú [82].
- Dubrovnik [83].
- Funchal [84].
- Gibraltar [9].
- Gotemburgo [85].
- Ibiza [86].
- Katákolo [82].
- Las Palmas de Gran Canaria [78].
- Lisboa [87].
- Livorno [10].
- Mahón [86].
- Málaga [88].
- Mykonos [82].
- Palma de Mallorca [86].
- Puerto del Rosario [78].
- Thira-Santorini [82].
- Valencia [89].

Algunos puertos a los que se le pidieron los datos no contestaron, lo cual, puede deberse a que el trabajo comenzó una semana antes de que se declarasen los distintos confinamientos domiciliarios en varias partes de Europa como resultado de la pandemia mundial provocada por la Covid-19. Estos puertos a los que se hace referencia son: La Spezia, Civitavecchia, Marsella, Messina, Palermo, Valletta, Génova, Venecia, Ponta Delgada y El Pireo.

Los datos compartidos por los puertos generalmente venían en hojas de cálculo, por lo que adaptar la forma y el orden de las tablas no supuso un gran reto. La dificultad de recolectar datos se hace patente cuando se intenta extraer la información de *internet*. El proceso de extracción se hizo de tres formas distintas según la morfología y distribución de los datos en las distintas *webs*:

- La *web* de los puertos griegos presenta los datos en varias tablas de 25 escalas para un determinado año y puerto. Estos cuadros permiten el copiado y pegado de los datos directamente en una hoja de *Excel*.
- La página del puerto de Gibraltar muestra los datos en una tabla anual, pero al contrario que en los puertos griegos, no permitía su copiado y pegado en hojas de cálculo debido a que para acceder a la información completa había que abrir un desplegable para cada escala. Una primera opción fue descargarla en pdf, pues la *web* lo permitía, pero la conversión de este formato a *Excel* no se pudo llevar a cabo con resultados satisfactorios. La solución final por la que se optó para obtener los datos de Gibraltar fue leer e interpretar el código fuente de la página para cada uno de los años, dado que la tabla era anual (Figura 4.2). Para lograrlo se siguieron los siguientes pasos:
 - En primer lugar, copiar el código fuente del buscador a un archivo de texto.
 - A continuación, desarrollar un programa de *Matlab* que interprete y reconozca los datos pertinentes en el archivo de texto.
 - Por último, volcar los datos a cinco hojas de cálculo (una para cada año), véase Figura 4.2.



Arrival	Ship Name	ETD	Pass	Operator	DBOCC Pax.
Thu 05 Jan 17, 08:00	SAGA SAPPHIRE	18:00	British	Saga Cruises	700
Sun 12 Mar 17, 09:00	VENTURA	16:00	British	P & O	3096
Sat 25 Mar 17, 12:00	PRINSENDAM	18:00	American	HAL	835
Mon 27 Mar 17, 07:30	CLIO	17:30	American	Granc Circle Cruise Line	89
Wed 29 Mar 17, 12:00	BALMORAL	20:00	British	Fred Olsen	1350
Thu 30 Mar 17, 08:00	VENTURA	14:00	British	P & O	3096
Thu 30 Mar 17, 13:00	OCEANA	22:00	British	P & O	2000
Fri 07 Apr 17, 09:00	SEVEN SEAS EXPLORER	21:00	American	Regent Seven Seas	750

Figura 4.2. Tabla de escalas del puerto de Gibraltar. En la parte superior derecha se aprecia el símbolo de imprimir (descargar). Para cada escala existe un botón de '+', donde aparece el resto de información [9].

- Por último, los datos en la página del puerto de Livorno aparecen de forma completamente distinta a las dos anteriores. La tabla donde se recoge la información es diaria. Esto supone que para cada año existen 365 tablas separadas, algunas vacías (para los días que no atraca ningún crucero), y otras con datos. Obtener la información manualmente, como en los puertos griegos sería un proceso largo y tedioso. Por otro lado, usar un razonamiento similar al empleado con Gibraltar también sería un procedimiento extenso, pues se tendrían que generar 365 archivos de texto para cada año.

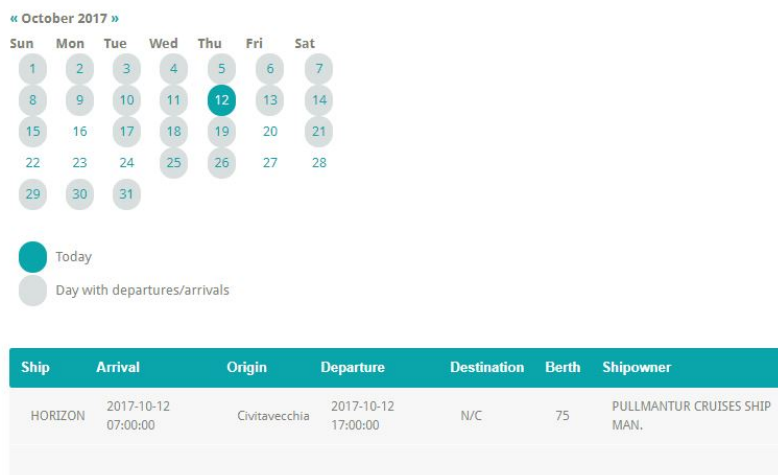


Figura 4.3. Tabla de escalas del puerto de Livorno. Se puede apreciar el calendario en la parte superior izquierda, y que por cada día del año existe una tabla que recoge la información de la escala [10].

El método que se usó para obtener estos datos fue el *web scrapping* (raspado web), que es una técnica que permite extraer información de las páginas mediante programas de *software*. Los *Jupyter Notebooks* [90] (cuadernillos Júpiter) han sido el *software* utilizado para conseguir este objetivo. Dicho programa permite crear y compartir documentos web en formato *JSON*, los cuales pueden ser utilizados para programar en *Python* y otros lenguajes de programación (como *R* y *Julia*) [91]. *Python* permite trabajar con múltiples librerías de *scrapping*, como *BeatifullSoup* y *urllib.request*, que son las usadas para este trabajo. Una vez se programó correctamente para en *Jupyter Notebook*, se utilizó la plataforma de *Google Collaboratory* para ejecutar el programa completo [92].

4.1.2. Base de datos de los buques de crucero

Las escalas que se muestran en los datos facilitados por los puertos no siempre son debidas a los cruceros, sino también a otros barcos de pasaje como los *ferrys*. Es por esto que surge la necesidad de tener una lista que recoja todos los buques de crucero disponibles actualmente. Esta información de la flota fue facilitada por el profesor a cargo de este trabajo (Dr. D. Jerónimo Antonio Esteve Pérez) en una hoja de *Excel*. Esta primera base de datos tiene la siguiente información: nombre del crucero, la naviera y el segmento al que pertenece el buque. Esta base de datos se completó durante el transcurso del trabajo con nuevos barcos que han sido renombrados, remodelados o incluso botados en los últimos años. Además de esto, se añadieron al archivo *Excel* otros aspectos del buque como la eslora, manga, puntal, velocidad o potencia, necesarios para la posterior estimación del impacto medioambiental en 2019.

4.1.3. Tratamiento de los datos

La información obtenida de los distintos puertos se presentaba de forma no uniforme y heterogénea. Esta información ha de expresarse igual para todos los puertos, ya que para un programa informático no es lo mismo '*BARCELONA*', que '*Barcelona*'. Además, se ha de tener en cuenta que para algunos puertos la información se presentaba en un idioma que dista mucho de ser parecido al

español, como es el caso de la ciudad croata de Dubrovnik. La solución propuesta para solucionar estos problemas fue la de desarrollar un programa en *Matlab* que no sólo tradujese, sino normalizase la forma de presentar los nombres o las cadenas de caracteres de los distintos puertos.

El funcionamiento del programa se puede ver representado en la figura 4.4 donde se muestra un diagrama de flujo, el cual se ha hecho en la plataforma *Draw.io*. La sucesión de acciones que realiza el programa se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Antes de comenzar a ejecutar el programa se deben crear dos listados distintos:
 - Uno que permita establecer y almacenar la forma correcta y normalizada de escribir el nombre de los puertos. Esta lista va aumentando a medida que se va realizando el trabajo pues se añaden distintos puertos, y a partir de ahora se va llamar '*Lista 1*'.
 - Otro donde se presente una matriz de dos columnas, de forma que en una fila se refleje tanto la forma incorrecta, como la correcta de escribir un puerto. Al igual que antes, y con objeto de simplificar, cuando se mencione este listado será como '*Lista 2*'. Este registro de rectificaciones también irá aumentando conforme se analicen los distintos puertos del trabajo.
- Una vez creadas ambas listas se procede a leer los datos del puerto para un determinado año.
- Para cada nombre el programa tiene que evaluar si el puerto está o no en la *Lista 1*. De esta evaluación se plantean dos posibles opciones:
 - Que el puerto se halle en la *Lista 1*, lo cual, implica que la cadena de caracteres está bien escrita y se puede proseguir con la siguiente.
 - Que el puerto falte en la *Lista 1*, en cuyo caso se comprobará si está en la *Lista 2*. Al igual que antes se vuelven a plantear otras dos opciones:
 1. Que el puerto se encuentre en la *Lista 2*. Lo cual es indicativo de que el puerto está mal escrito, pero que se ha hecho una corrección igual anteriormente. En este caso el programa sustituirá esta cadena de caracteres, por su corrección.
 2. Que el puerto no se halle en la *Lista 2*. Es en este punto donde la decisión ha de tomarla una persona. Dicho esto, los escenarios que se pueden plantear son los siguientes:
 - a) Que el puerto sea nuevo, y no se haya visto antes, lo cual explica que falte en ambas listas. El usuario del programa tiene que añadir dicho puerto a la *Lista 1*.
 - b) Que el puerto no sea nuevo, pero esté escrito de una forma no vista hasta ese momento. El usuario del programa tiene que añadir a la *Lista 2*, no sólo esta cadena de caracteres, sino también su corrección en la columna adyacente.
- Repetir este proceso para el resto de años y puertos.

Una vez corregidos el nombre de los puertos anterior y posterior que se encuentran en la base de datos se continuó corrigiendo el nombre de los cruceros. Esto se hizo porque permitía separar las escalas de ferrys, Ro-Ros, y cruceros, dejando sólo estos últimos. Para conseguir esto se desarrolló otro programa en *Matlab* similar al anterior (Figura 4.5). Comparado con el programa previo existe una pequeña diferencia, concretamente, en la etapa donde es necesario la supervisión del usuario se presentan tres decisiones, en lugar de dos. El programa en cuestión puede resumirse como se muestra en las siguientes líneas:

- Antes de comenzar se crean dos listados distintos:
 - Uno que establezca y almacene la forma correcta y normalizada de escribir el nombre de los cruceros (*'Lista 1'*).
 - Otro que presente una matriz de dos columnas, de forma que en una fila se refleje tanto las formas incorrecta y correcta de escribir el nombre del crucero (*'Lista 2'*).
- Una vez creadas ambas listas se pueden leer el nombre de los cruceros para un determinado año.
- Para cada nombre o cadena de caracteres el programa evalúa si el crucero está o no en la *Lista 1*. De esta evaluación se plantean dos posibles opciones:
 - Que el puerto se halle en la *Lista 1*, en cuyo caso pasa al siguiente.
 - Que el crucero no se encuentre en la *Lista 1*, en cuyo caso se comprobará si está en la *Lista 2*. Se vuelven a plantear otras dos opciones:
 1. Que el nombre del crucero esté en la *Lista 2*. En este caso el programa sustituirá esta cadena de caracteres, por su corrección.
 2. Que el crucero no se halle en la *Lista 2*. Es en este punto donde la decisión ha de tomarla una persona, y donde surge la principal diferencia con el anterior programa. Las opciones son:
 - a) Que el crucero sea nuevo. El usuario del programa tiene que añadir dicho buque a la *Lista 1*.
 - b) Que el crucero no sea nuevo, pero esté escrito de una forma no vista hasta ese momento. El usuario del programa tiene que añadir a la *Lista 2*, no sólo esta cadena de caracteres, sino también su corrección en la columna adyacente.
 - c) Que no sea un crucero, en tal caso el usuario ha de eliminar esa escala de la base de datos.
- Repetir este proceso para el resto de años y escalas.

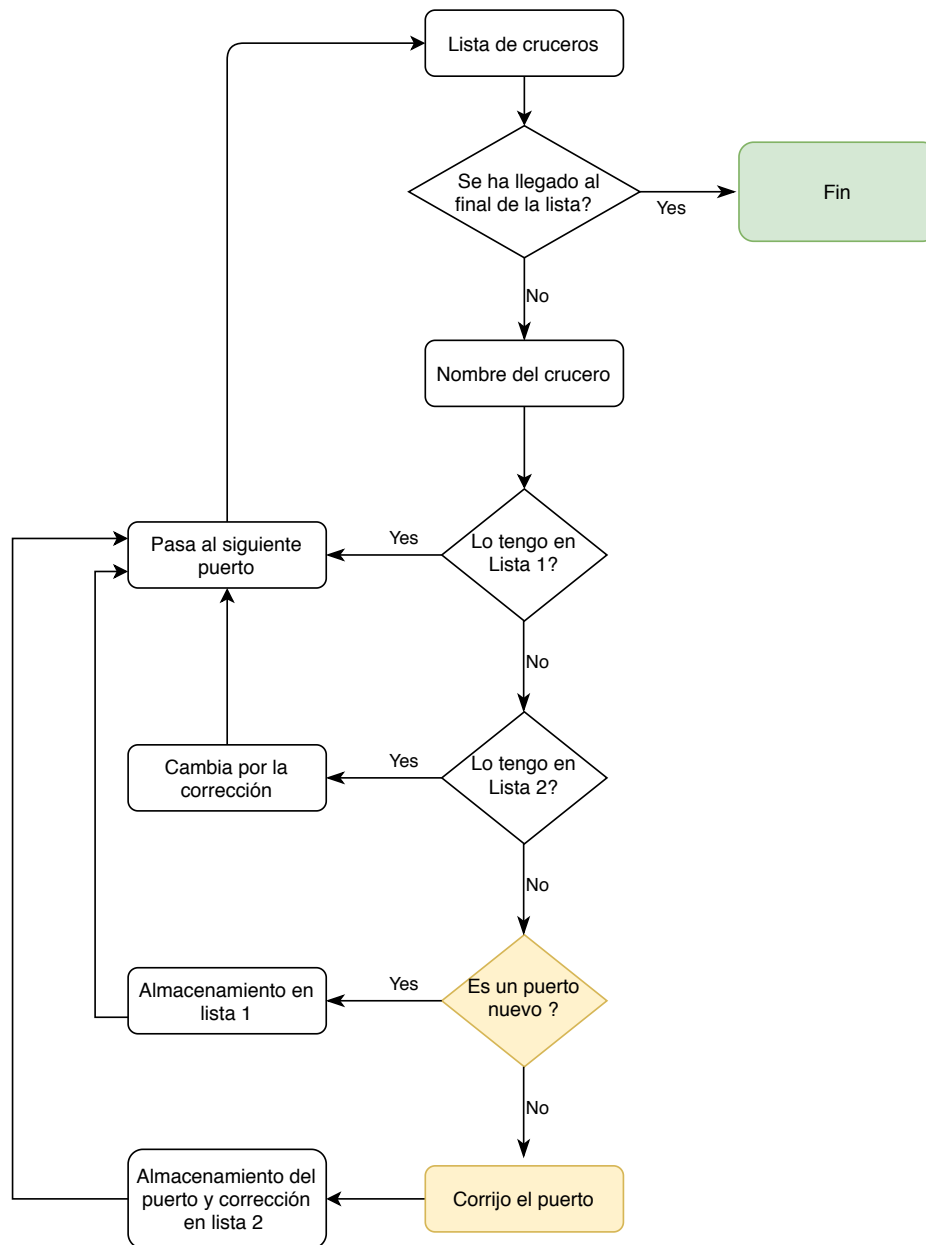


Figura 4.4. Diagrama de flujo del programa que corrige el nombre de los puertos procedentes de las distintas escalas que se encuentran en la base de datos del apartado 4.1.1. Los cuadros amarillos indican las acciones y decisiones que ha de hacer y tomar el usuario respectivamente.

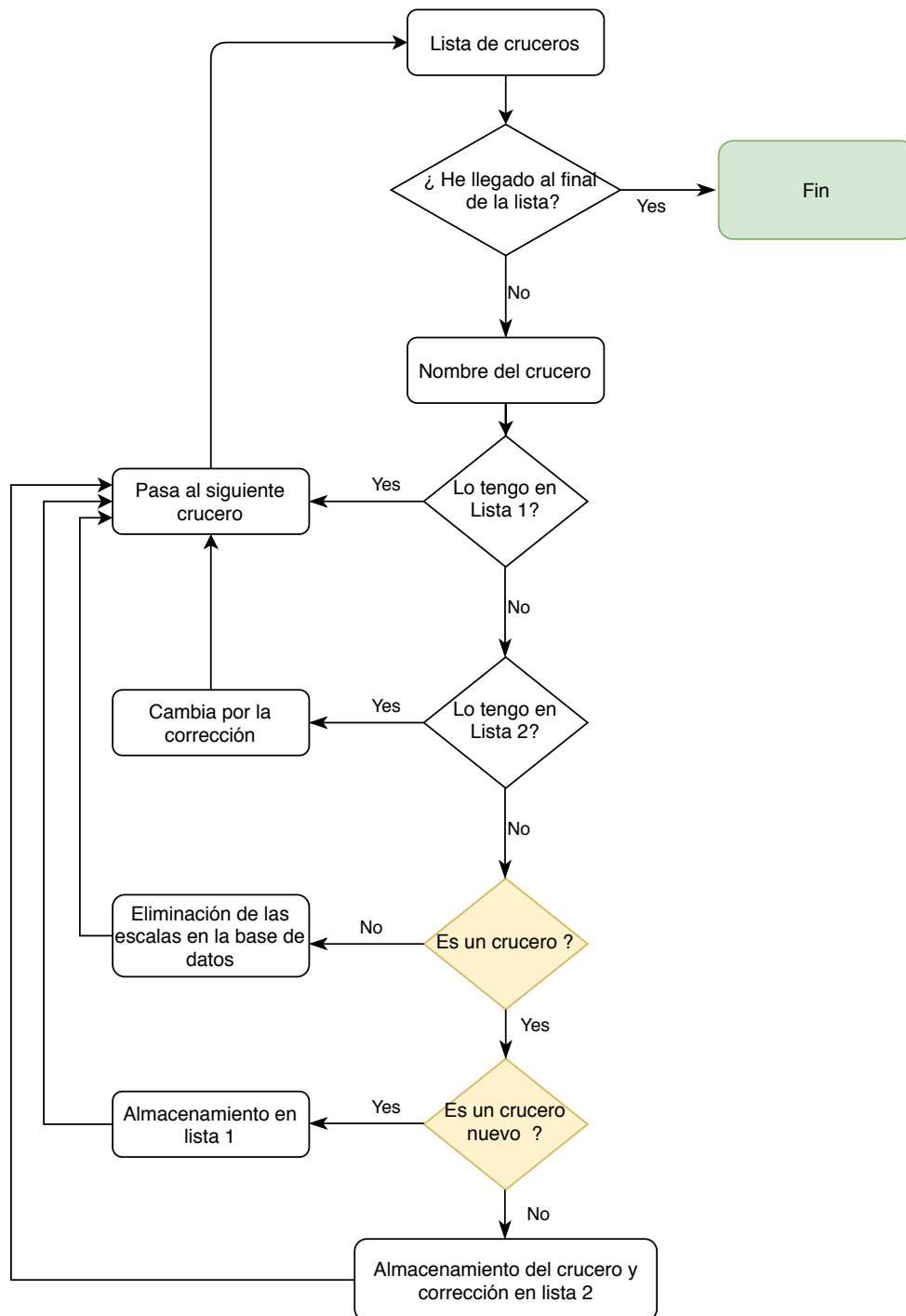


Figura 4.5. Diagrama de flujo del programa que corrige el nombre de los cruceros para las distintas escalas que se encuentran en la base de datos del apartado 4.1.1. Los cuadros amarillos indican las decisiones que ha de tomar el usuario.

Uno de los problemas que más tiempo llevó solucionar fue la eliminación de los espacios finales en las cadenas de caracteres. En la base de datos existían algunas celdas que incluían un espacio en blanco al final de la cadena de caracteres. Este hecho aparentemente simple complicó esta fase del trabajo (hasta que se encontró el problema) porque algo aparentemente igual para una persona no lo era para un programa de procesamiento de datos, pues para éste, *'Livorno'* no es lo mismo que *'Livorno '*.

Una vez finalizado el filtrado y limpiado de datos se puede seguir con el trabajo transformando los datos de forma tabular a matricial, tal y como se describe en la siguiente sección del trabajo.

4.1.4. Conversión matricial de los datos

La forma en que se muestran los datos es fundamental para llegar a los parámetros y poder representar las redes del mercado de cruceros. Hasta ahora, la información se ha expresado según se muestra en la figura 4.1. El siguiente paso es expresar esta información en una matriz cuadrada, donde las filas sean los puertos de origen, y las columnas de destino. Por ejemplo, si en una red de tres puertos se dan los trayectos siguientes:

- Dos trayectos del primer puerto al segundo.
- Un trayecto desde el segundo al tercero.
- Un trayecto desde el tercero hacia el primero.

La matriz resultante sería la que se muestra a continuación (Ecuación 4.1).

$$Ejemplo = \begin{matrix} Puerto1 \\ Puerto2 \\ Puerto3 \end{matrix} \begin{pmatrix} 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (4.1)$$

La información proveniente de los puertos, tiene en cuenta tanto la escala anterior, como la posterior (Figura 4.1), por lo tanto se pueden componer dos matrices distintas:

- La primera de ellas tiene en cuenta las escalas anteriores, de forma que en las filas se presente el '*Puerto anterior*', y en las columnas aparezca el '*Puerto actual*'.
- La segunda matriz se origina a partir de las escalas posteriores. En este caso las filas representan el '*Puerto actual*', mientras que las columnas '*Puerto posterior*'.

La unificación de ambas matrices es posible porque se pueden sumar, pero se ha de tener en cuenta un detalle. Existen celdas de la matriz que se solapan, es decir que contabilizan los mismos trayectos dos veces. Un ejemplo puede ser las conexiones entre Barcelona y Palma de Mallorca, dado que entre sendas ciudades existe tráfico, y además son dos puertos cuyos datos se conocen. En estos casos se da la siguiente situación:

- La matriz 1, considera sólo la columna de '*Puertos anteriores*', por lo que para el caso de Barcelona existen '*n*' cruceros que vienen de Palma.
- La matriz 2, por su parte tiene en consideración la columna de '*Puertos posteriores*', por lo que desde Palma de Mallorca parten los mismos '*n*' cruceros que Barcelona recibe.

La suma de ambas matrices sin contar con lo anterior, llevaría a un duplicidad de escalas entre los puertos conocidos. Para solucionar este problema se decidió promediar los valores de sendas matrices en aquellas celdas donde se corría riesgo de sufrir solapamiento en las escalas. Estas celdas son las que conectan los puertos cuyos datos portuarios se conocen. El anterior proceso ha permitido expresar las distintas escalas de varios puertos en una sola matriz, lo que nos permite estudiar y representar los grafos de dicha matriz.

Una vez se ha puesto toda la información de forma matricial se puede pasar al siguiente paso, el cálculo de las métricas procedentes del análisis de redes sociales, y la obtención de los grafos del mercado europeo.

4.2. Análisis de patrones de navegación en el mercado de cruceros europeo

4.2.1. Grafos y métricas de redes sociales

Uno de los objetivos principales del trabajo es analizar y comprender el mercado europeo de cruceros durante los últimos cinco años. Los distintos trayectos hechos por estos buques forman una red. Tratar este conjunto de conexiones, y determinar sus métricas, es fundamental para entender y analizar este mercado. Además, estas redes se pueden representar en grafos, lo que permite llegar a conclusiones más generales e intuitivas con un golpe de vista.

El cálculo de los parámetros de la red ha sido posible gracias a tres programas, *Matlab*, *Ucinet 6.0* y *NetDraw*. El primero de ellos ya se ha empleado previamente en este trabajo para tratar los datos. No obstante, *Matlab* se utilizó en esta parte del trabajo para escribir un código que determine parámetros como el flujo recibido, iniciado, grado de centralidad entrante y saliente. El programa empleado para calcular el grado de intermediación y representar los grafos fue *Ucinet 6.0* y *NetDraw*, respectivamente. Estos dos últimos programas trabajan conjuntamente, de hecho el primero ofrece la posibilidad de trabajar con el segundo sin tener que ejecutar este último, pero por problemas de compatibilidad se tuvo que trabajar por separado.

La representación de los grafos anuales son demasiado grandes y extensos como para poder deducir algo, por lo que se dividió en zonas geográficas. Además, y con el objetivo de poder entender las dinámicas subyacentes en el mercado europeo se ha subdividido las redes globales por segmentos de mercado para cada año, no sólo gráficamente si no también con los cálculos.

Por último, se ha de destacar un problema que apareció en esta parte del trabajo y tuvo que ser solucionado. El inconveniente de trabajar con varios *softwares* distintos, concretamente con *Matab* y *Ucinet 6.0*, es la colocación que ambos programas establecen para el orden alfabético es distinta para el caso de las letras con acento. Esto anterior, supone que el cambio en el orden de un puerto puede hacer que la lista se descuadre, por lo que es de una importancia crucial comparar el listado de puertos generado por ambos programas.

4.2.2. Métrica de centralidad *hubs* y autoridades

Es interesante saber cómo los nodos son influenciados por los otros nodos a los que están conectados. Esto permite comprender mejor tanto la red como sus dinámicas. Esta relación entre nodos puede ser calculada mediante un análisis centralizado del vector propio, mientras que las métricas de centralidad *hub* y autoridad son la normalización del vector propio de forma centralizada. La métrica de centralidad de *hub* y autoridad de un nodo particular aumenta si éste tiene relación con nodos relevantes de la red, y viceversa, los nodos relevantes tendrán más importancia si se encuentran conectados con nodos cuyas métricas sean elevadas. Todo lo anterior indica que este proceso se incrementa de forma colectiva.

Las métricas de centralidad como el grado de intermediación o de centralidad que se han visto anteriormente no tienen en cuenta qué nodos se conectan con los más relevantes. Las medidas que ofrece el SNA, por tanto, asumen que todas las conexiones son iguales y no toman en consideración la importancia de las relaciones con los nodos importantes. A pesar de esto, se sabe que el impacto que produce un nodo es significativamente distinto dependiendo de su importancia dentro de la red. Por ejemplo, un puerto para buques de crucero puede ser atractivo por su cercanía con un aeropuerto. Por tanto, la conexión de este puerto tendrá más impacto que un segundo puerto carente de atractivo, debido a que el primero tiene la capacidad de atraer más pasajeros gracias a sus instalaciones aeroportuarias. Todo lo anterior invita a pensar que considerar todas las conexiones con una influencia similar es incorrecto.

Kleinberg formuló un algoritmo iterativo que permite calcular la centralidad *hub* y la autoridad de cada nodo actualizando el peso de éstos con cada iteración [93]. La aplicación del método comienza por asignar a cada puerto un peso positivo de autoridad $x^{(p)}$ y un peso de *hub* positivo $y^{(p)}$. En ese trabajo se aplicó el algoritmo, actualizando tanto los pesos de autoridad como los de *hub*, para posteriormente normalizarlos. La normalización de las métricas se hace de forma que las sumas de los cuadrados sumen uno (Ecuaciones 4.2 y 4.3). El puerto con mejor autoridad es el que posea un valor de x mayor, y el de mejor *hub* será el que tenga un valor de y mayor. El conjunto de puertos en la red está representado como S_σ .

$$\sum_{p \in S_\sigma} (x^{(p)})^2 = 1 \quad (4.2)$$

$$\sum_{p \in S_\sigma} (y^{(p)})^2 = 1 \quad (4.3)$$

siendo $x^{(p)}$ e $y^{(p)}$ el peso de *hub* y autoridad de cada nodo, respectivamente.

El refuerzo colectivo de los nodos entre *hub* y autoridades actúa de la siguiente manera: Si un número p de nodos tienen conexión con otro cuyo valor de x sea grande, entonces el valor de y de estos primeros nodos tenderá a ser alto, y viceversa, si un nodo está conectado a muchos nodos con un valor alto de y , entonces el valor de x del primero será propenso a ser elevado. Una vez planteado lo anterior, es posible definir las operaciones que actualizan los pesos con cada iteración: Ψ y Φ . Dados los vectores de pesos $x^{(p)}$ e $y^{(p)}$, la operación Ψ actualiza los pesos de x de la forma que se muestra en la ecuación 4.4

$$x^{(p)} \leftarrow \sum_{q:(q,p) \in E} y^{(p)} \quad (4.4)$$

La operación Φ , por su parte, actualiza los pesos de según se muestra en la ecuación 4.5:

$$y^{(p)} \leftarrow \sum_{q:(q,p) \in E} x^{(p)} \quad (4.5)$$

Estas dos últimas operaciones se deben aplicar de forma alternada y varias veces para actualizar los pesos de forma que se establezca un proceso iterativo que asegure lograr el equilibrio de dichos pesos. Por otra parte, los pesos tanto x , como y , dan una idea de cómo de importantes son los puertos conectados a los que manda o de los que recibe cruceros, respectivamente. Así mismo, un puerto no tendrá peso de x si no recibe cruceros de ningún puerto, aunque éste genere tráfico, actuando como un *hub* puro, tal y como ocurre en el grafo izquierdo de la Figura 4.6. De la misma forma que un puerto que no emita tráfico y sólo reciba, su peso de x será cero, siendo una autoridad pura, como ocurre en el grafo central de la Figura 4.6. Dado que la mayor parte de los cruceros que escalan en puerto tienen un origen y un destino, la mayor parte de puertos tendrán peso en x y en y , actuando como *hub* y autoridad simultáneamente, como se observa en el grafo derecho de la Figura 4.6.

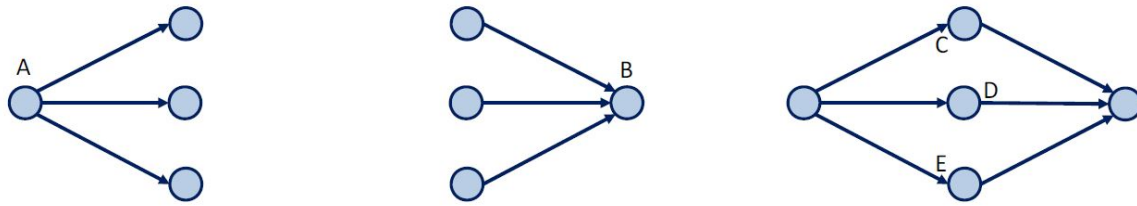


Figura 4.6. Centralidad de autoridad y de *hub* en una red. A actúa como *hub* (izquierda), B actúa como autoridad (centro) y C, D, E actúan como *hubs* y autoridades (derecha) [11].

El algoritmo de este proceso se puede escribir de la siguiente manera:

- Itera (G,k)
 - G: a conjunto de n puertos conectados
 - k: un número natural
 - Determinamos el vector Z como $(1,1,1,1) \in \mathbb{R}^n$.
 - Conjunto $x_0 := z$.
 - Conjunto $y_0 := z$.
 - For $I = 1, 2, \dots k$
 - Aplicamos la operación Ψ a (x_{i-1}, y_{i-1}) , obteniendo el nuevo vector de pesos x'_i .
 - Aplicamos la operación Φ a (x'_{i-1}, y_{i-1}) , obteniendo el nuevo vector de pesos y'_i .
 - Se normaliza x'_i , y se obtiene x_i .
 - Se normaliza y'_i , y se obtiene y_i .

- End
- Devuelve los vectores. (xk, yk).

La figura 4.7 muestra un esquema que resume todo el proceso que se ha seguido para determinar las métricas de la red europea de cruceros.

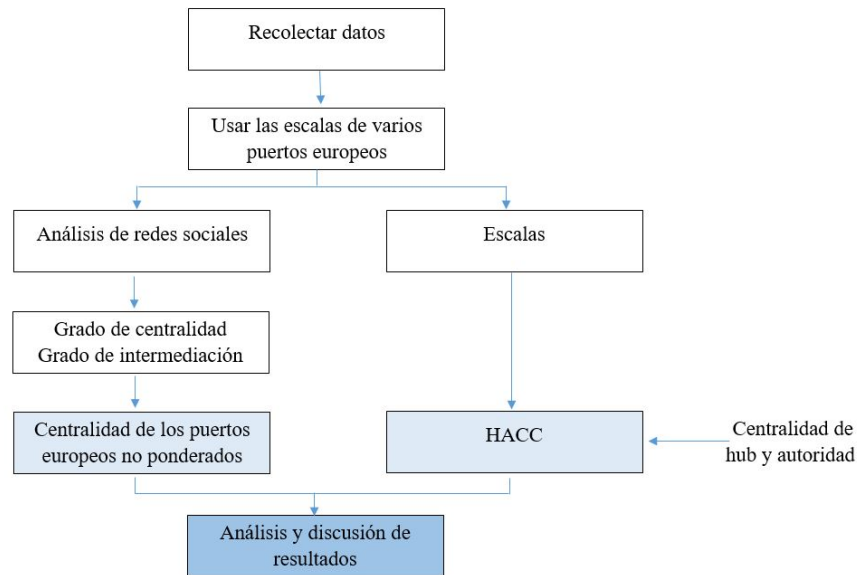


Figura 4.7. Esquema con el procedimiento de trabajo aplicado en el estudio.

4.3. Impacto ambiental de los cruceros del Mediterráneo Occidental.

El impacto ambiental que tiene un crucero puede darse en múltiples formas: basura y residuos generados por su actividad, merma de la calidad del agua salada usada en sus intercambiadores y que es expulsada al mar, las emisiones de gases contaminantes, etc. Este trabajo se centra en este último aspecto, la emisión de los gases contaminantes durante la navegación. Estimar la cantidad de gases expulsados en puerto es más complejo debido a la posible conexión eléctrica entre el buque y tierra, aunque existen trabajos que sí las estiman [94].

Existen multitud de autores que proponen distintos modelos para el cálculo de gases emitidos durante la navegación de un buque, la mayoría basados en fórmulas experimentales que son validadas posteriormente [94]. No obstante, existen otros modelos que pueden llegar a ser muy precisos, pues algunos llegan a considerar el aumento de emisiones producidos por el estado del mar y las olas [13]. El grado de precisión que tiene este último modelo requeriría de más información como el tipo de motor, sus revoluciones, la velocidad, las curvas de consumo-velocidad, entre otros parámetros. El presente estudio utilizó varias de las aproximaciones propuestas en un estudio previo que también estimaba las emisiones en el Mediterráneo [95]. Estas estimaciones se reflejan en las ecuaciones 4.6, 4.7.

$$NO_x(kg/h) = 17,5 \cdot 10^{-3} \cdot P \quad (4.6)$$

$$SO_2(kg/h) = 11,34 \cdot 10^{-3} \cdot P \quad (4.7)$$

donde P es la potencia de propulsión instalada en el crucero expresada en kW.

4.3.1. Modelo de estimación de potencia

Los datos más habituales que se pueden encontrar para la mayoría de cruceros son su eslora, manga y arqueado, aunque para algunos también se pueden encontrar su potencia. Como se ha dicho anteriormente, hallar este parámetro de potencia es necesario para estimar la cantidad de emisiones que genera un buque (Ecuaciones 4.6, 4.7). Debido a que no siempre se puede encontrar dicha información se procede a estimar la potencia de los cruceros a partir de una regresión lineal, tomando los datos de aquellos cruceros para los que sí se conoce esta información

Potencia como variable dependiente de una regresión lineal múltiple. Las fuentes de información donde se pueden consultar la potencia instalada de los cruceros son varias, no obstante las que se han usado en este caso son *Wikipedia* y *Vessel Finder* principalmente [96] [97]. El dato de potencia instalada no está siempre disponible en estas páginas para algunos cruceros, pero sí lo están otros parámetros como las dimensiones y la velocidad. Finalmente, para estimar la potencia de aquellos cruceros en los que se desconoce este dato se decidió realizar regresiones que relacionen este parámetro con otro conocido (velocidad, dimensiones...). El programa utilizado para hallar las regresiones ha sido los *Jupyter Notebook*, pues permite calcular la función que mejor se aproxima a la dispersión y el error (R^2) además de representar todo lo anterior en una sola gráfica en la que también se muestra el histograma del parámetro representado. La primera solución propuesta para estimar la potencia fue hacer una regresión múltiple utilizando *sklearn* (una librería de *python* especializada en este tipo de regresiones) que permita crear un modelo con tantas variables como sean necesarias (Ecuación 4.8).

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \dots + \beta_p \cdot X_p + \varepsilon \quad (4.8)$$

donde:

- Y_t es la variable dependiente, explicada o regresando.
- X_1, X_2, \dots, X_p son las variables independientes, explicativas o regresores.
- $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$ son los parámetros que miden la influencia que las variables explicativas tienen sobre el regresando. Destacar que β_0 es la intersección, termino constante o independiente.
- ε es la perturbación aleatoria que recoge todos aquellos factores que en realidad no son controlables y que confiere al modelo su carácter estocástico ya que se asocia con el azar.

El primer modelo de regresión lineal múltiple incluía como variables independientes el arqueado bruto (GT), la velocidad y las dimensiones (eslora, manga y calado). Estas variables explicativas tienen distintas escalas, por lo que para poder realizar la regresión correctamente se tienen que normalizar. A continuación se puede ajustar el modelo, de lo que se obtienen las β de los regresores:

- $\beta_{GT(t)} = 1,274 \cdot 10^4$

- $\beta_{Eslora} = 7347,51$

- $\beta_{Manga} = 9305,98$

- $\beta_{Calado} = 1037,37$

- $\beta_{Velocidad} = -1040,02$

Los distintos valores de β indican que el arqueo bruto, la eslora y la manga son los datos que más influencia tienen en el cálculo de la potencia pues poseen unos parámetros de influencia mayores que la velocidad y el calado (que ejercen una menor influencia sobre la potencia). El resultado de este modelo basado en una regresión múltiple no fue satisfactorio, pues la potencia estimada en cruceros de pequeño tamaño resultaba negativa. Tras prescindir de la regresión lineal múltiple original se elaboró otra sólo con los tres parámetros más influyentes. Este segundo modelo obtuvo resultados similares al anterior, lo cual era de esperar ya que los parámetros más influyentes no habían cambiado.

La base de datos está compuesta por más de 300 cruceros, pero tan sólo 185 fueron utilizados para hacer estos dos modelos porque eran los únicos con todos sus parámetros conocidos. Esto último puede ser una posible causa, pues quizá se necesite un mayor número de cruceros para aumentar la precisión de los modelos basados en regresiones lineales múltiples. La segunda posible causa de que estos modelos no predigan correctamente la potencia es que tal vez se tenga que utilizar una regresión no lineal múltiple, ya que como se mostrará en las sucesivas regresiones la aproximación no lineal debe considerarse para no subestimar las características de los cruceros más pequeños.

Potencia como variable dependiente de la relación eslora-manga, y arqueo-eslora. Las regresiones lineales múltiples anteriores no sirvieron para establecer un modelo que estimase la potencia correctamente, pero ayudó a establecer qué parámetros son los más influyentes para predecirla (arqueo bruto, manga y Eslora). La siguiente opción fue utilizar una regresión lineal simple cuyas variables explicativas fueran una combinación de los tres parámetros más influyentes, concretamente las relaciones eslora-manga y arqueo-eslora (Figuras 4.8a y 4.8b).

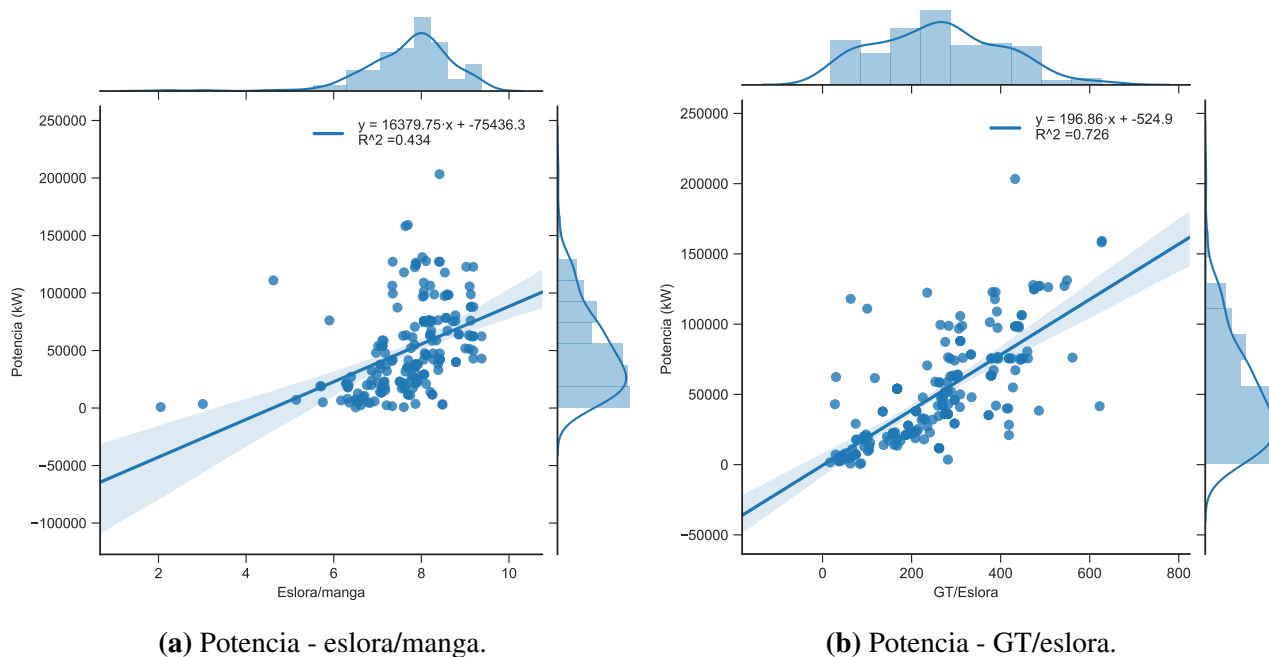


Figura 4.8. Regresiones que usan relaciones de distintos parámetros como variables explicativas.

El inconveniente de ambas regresiones es que tienen un R^2 demasiado bajo. Aunque, el error cuadrático medio de la segunda figura sí puede considerarse aceptable, esta regresión fue desestimada debido a que las regresiones cuya variable explicativa es igual a un sólo parámetro podrían llegar tener un R^2 más alto que éstas últimas. La conclusión que se sacó tras estudiar estas regresiones, es que tanto el arqueo bruto, como la eslora, pueden ser los dos regresores más precisos si se elabora una regresión con la potencia como variable dependiente.

Potencia como variable dependiente de la eslora. La eslora es el dato conocido para todos los cruceros, es por eso que se va a usar este parámetro como variable explicativa antes de utilizar el arqueo bruto. El valor de R^2 ha aumentado en las siguientes regresiones respecto de las anteriores, aunque no significativamente. La potencia estimada de los buques se puede aproximar según la ecuación lineal presentada en la figura 4.9a. Esta función de regresión para esloras inferiores a 100 metros subestima la potencia (es negativa), lo cual indica que la regresión lineal no es válida. Debido a esto, se pasa a aproximar la regresión con una función polinómica de grado 2 (Figura 4.9b), aunque ésta sobre estima las potencias para esloras menores de 100 m. Por último, se procedió a realizar una aproximación polinómica de tercer grado para comprobar si mejora la precisión en los cruceros pequeños, pero vuelve a subestimar potencias de los buques con dimensiones pequeñas (Figura 4.9c). Además, ninguna de las tres regresiones tiene un R^2 superior a 0,85 lo que las descarta como modelos para estimar la potencia de forma precisa.

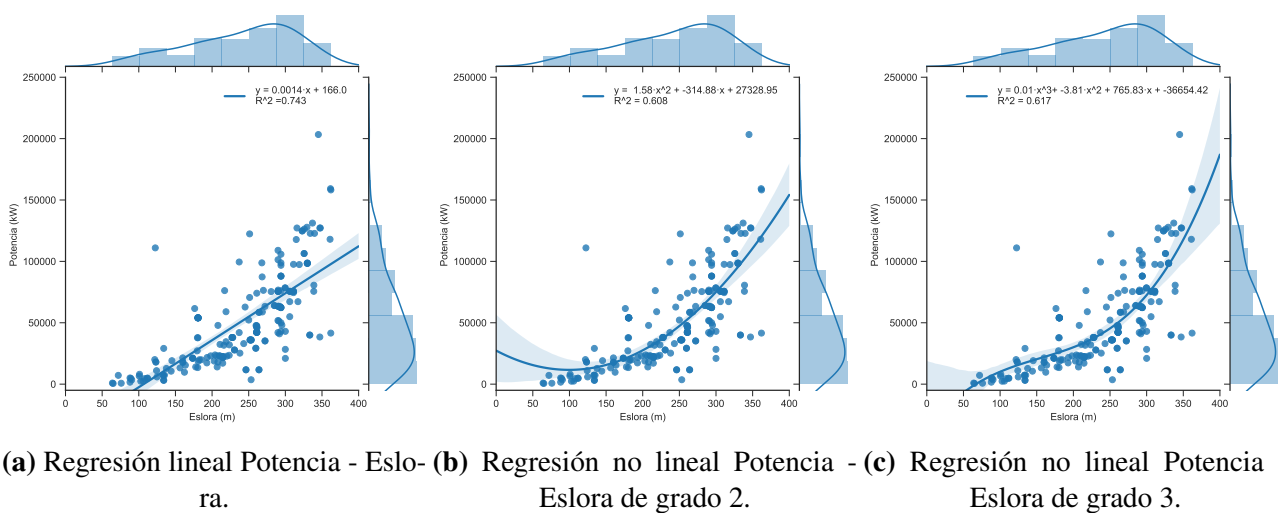


Figura 4.9. Regresiones del potencia y la eslora lineal (a) y polinómica de grado 2 (b) y 3 (c).

Potencia como variable dependiente del arqueo bruto. La representación de la potencia dependiente del arqueo bruto muestra un resultado similar al que existe en el caso de la eslora (Figuras 4.10a y 4.10b). Esto indica que la dispersión es demasiado elevada como para intentar trabajar con regresiones en las que la potencia sea el regresando.

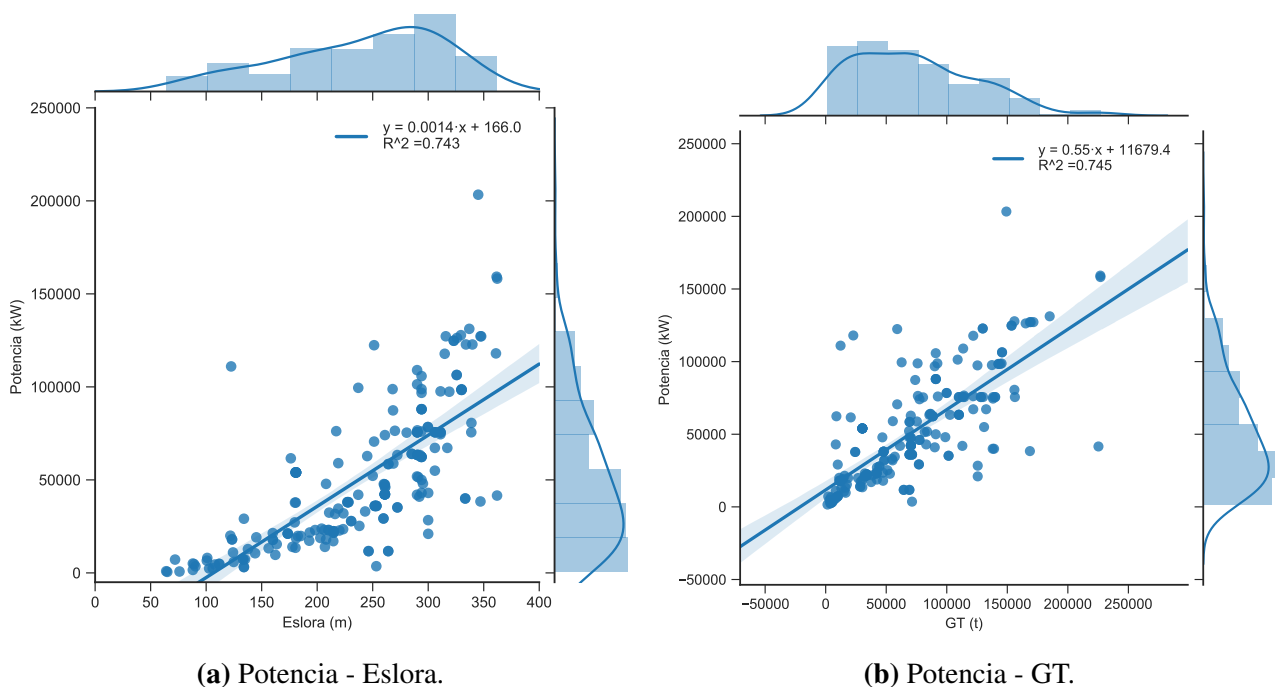


Figura 4.10. Regresiones que usan como variables explicativas la eslora (a) y el arqueo bruto (b).

Potencia estimada con fórmula empírica Las regresiones que usan la potencia como variable dependiente tienen una R^2 demasiado baja. La solución a esto es utilizar una fórmula empírica que relacione la potencia con algún otro parámetro, como es el arqueo bruto en este caso (Ecuación 4.9) [98]. El único dato conocido para todos los cruceros es la eslora, por lo que se puede aprovechar para obtener el arqueo bruto de los 25 cruceros cuyo valor de arqueo bruto es desconocido con una regresión (Figuras 4.11a y 4.11b). La función polinómica de grado 2 fue la que se usó dado que la

estimación del arque para menores de 100 metros sería negativa (lo cual no es posible).

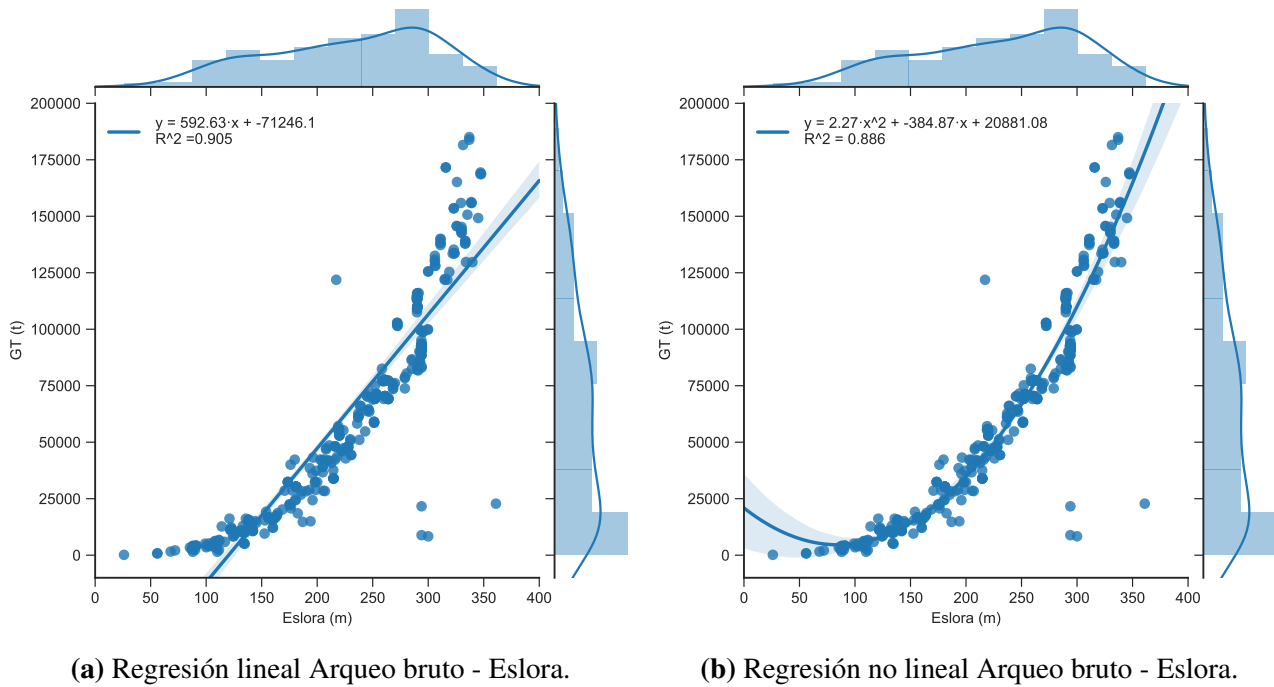


Figura 4.11. Regresiones del arque bruto y la eslora lineal (a) y polinómica de grado 2 (b).

$$P_{propulsora}[kW] = 32,0879 \cdot GT^{0,6134} \quad (4.9)$$

Lo cierto es que si se compara esta potencia con la de un crucero en la que se tenga este dato no dista tanto, por ejemplo el *Symphony of the Seas* tiene una potencia propulsora instalada de 57000 kW, mientras que con esta fórmula da unos 60000kW, una diferencia algo mayor del 5 %. Una vez hallada la potencia estimada para todos los cruceros se pueden estimar la cantidad específica de emisiones de cada crucero (Ecuaciones 4.6 y 4.7).

Por último, se ha de destacar que el cálculo de emisiones se hace para la condición más desfavorable que sería la de navegación a máxima velocidad, haciendo uso del 85 % de potencia instalada.

4.3.2. Estimación de las emisiones en el Mediterráneo Occidental

El impacto medioambiental de los cruceros se va a evaluar tan sólo en el Mediterráneo Occidental durante 2019 debido a que es una de las zonas con tráfico de cruceros más intenso, no sólo de Europa, sino del mundo. Los trayectos para esta zona durante 2019 siguen la ley de Pareto, es decir un pequeño número de conexiones aglutina la mayor parte de trayectos. Atendiendo a esto último, se fijó un filtro en el que se eliminaban las conexiones con menos de 10 trayectos, con lo que quedaron tan sólo un 20% de conexiones, responsables de un 75 % de trayectos (Figura 4.12).

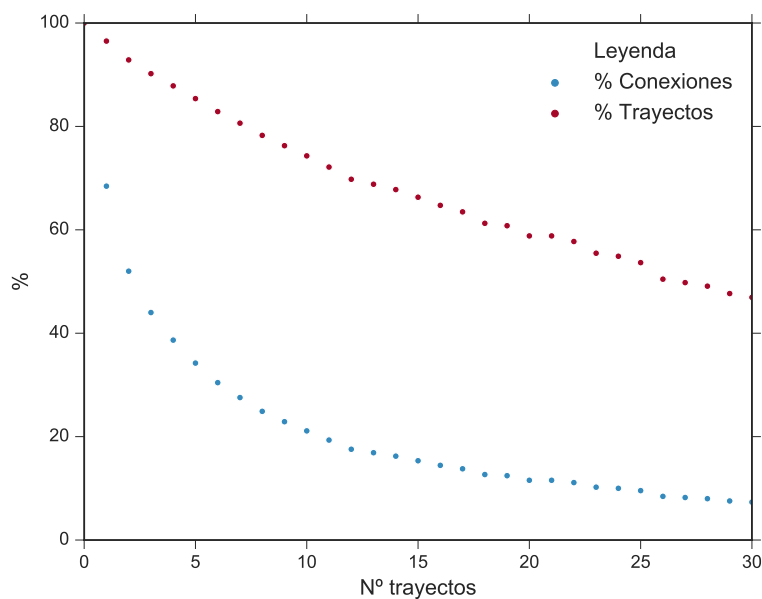


Figura 4.12. Gráfica ue muestra el porcentaje de trayectos y conexiones para las distintas relaciones entre puertos del Mediterráneo Occidental.

El significado de la figura anterior se puede describir de la siguiente manera: el eje y muestra el porcentaje de trayectos y conexiones que quedan tras eliminar aquellas relaciones entre puertos con un número de viajes menor del que se indica en el eje x . Por tanto, para un valor en el eje de abscisas igual a cero, se considerarían el 100% de los trayectos y conexiones entre puertos. El escenario que se ha elegido en este trabajo para estudiar el impacto ambiental es el resultante para un valor del eje x igual a 10. Esto último indica que no se tendrán en cuenta aquellos puertos entre los que exista un tráfico menor de 10 viajes. La razón de elegir 10 es debido a que esto engloba tan sólo al 20% de los puertos mientras se consideran el 75% de los trayectos (Figura 4.13).

Llegado a este punto se tienen por un lado lo que emite cada crucero y los viajes que se van a considerar para este cálculo, así como los buques que van a realizar dichos trayectos, tan sólo queda extraer de las distintas bases de datos los trayectos elegidos. El procedimiento seguido para resolver esto fue el desarrollo de un código en los *Matlab* que inserte información correcta en la fila precisa.

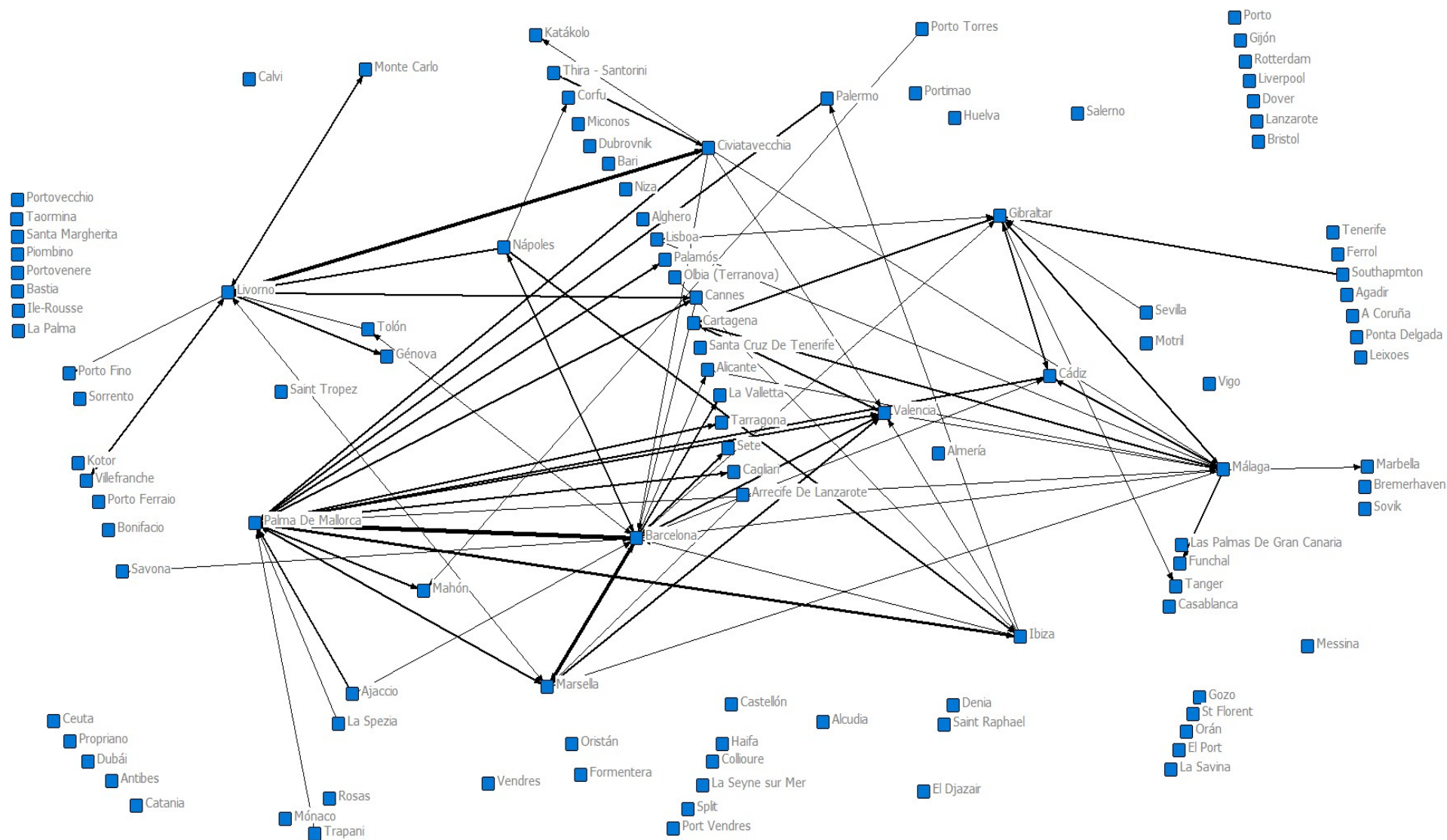


Figura 4.13. Grafo del Mediterráneo Occidental donde sólo se muestran los puertos con conexiones con un número de trayectos mayor de 10. El grosor de las líneas muestra la importancia de las relaciones.

Capítulo 5

Resultados y discusión

Las métricas obtenidas del análisis de las redes interportuarias del mercado de cruceros europeo pueden clasificarse en dos: globales y locales. Los parámetros que existen tanto a nivel global como local ya se han explicado en los capítulos anteriores, no obstante, de entre éstos los que se han calculado, representado y analizado se enumeran a continuación:

- Métricas globales:
 - Densidad.
 - Número de nodos y conexiones.
 - Grado de centralización (entrante, saliente y global).
- Métricas locales:
 - Flujo iniciado.
 - Flujo recibido.
 - Grado de centralización saliente y entrante.
 - Grado de centralización normalizado saliente y entrante.
 - Grado de intermediación
 - Índice *hub*.

La última métrica (el índice *hub*) se considera perteneciente al grupo de parámetros locales, pues se determina para cada puerto de la red. Por otra parte, existen otro tipo de resultados mostrados también en este estudio, los grafos. Estas representaciones muestran de forma gráfica todas las conexiones existentes entre los puertos.

Finalmente, la segunda parte de este capítulo muestra el impacto ambiental de los cruceros en el Mediterráneo Occidental durante 2019, y cómo las nuevas tecnologías reducen las emisiones en estos barcos.

5.1. Tendencias y patrones del mercado de cruceros europeo

El mercado de cruceros europeo puede dividirse en función del estándar de servicio en el que se encuadre cada naviera. El análisis global de este mercado es útil debido a los resultados que se pueden obtener. A pesar de esto, la segregación en segmentos puede arrojar ciertas tendencias y patrones que podrían quedar ocultos por la multitud de datos que se han analizado. Es por esto que tras exponer los resultados globales se van a presentar también los obtenidos a partir de la segmentación del mercado.

5.1.1. Mercado de cruceros global

Los resultados globales y locales conseguidos del estudio sobre el tráfico de cruceros europeo global se van a exponer de forma gráfica. No obstante, este mercado contiene tal cantidad de puertos que representar tan sólo los 10 primeros en una gráfica puede ser insuficiente, por lo que también se van a expresar los datos de forma tabular. Los grafos obtenidos contienen no sólo puertos mediterráneos, sino atlánticos y del Norte de Europa, es decir todos aquellos con los que hay conexiones. Esto hace difícil interpretar los grafos debido a la multitud de conexiones y puertos. Uno de los objetivos principales de este trabajo es presentar unos grafos legibles y claros, por lo que se van a dividir por zonas. Resumiendo, las métricas se van a realizar teniendo en cuenta todo el mercado europeo, mientras que los grafos se van a dividir por zonas para poder hacerlos legibles.

Resultados globales

La densidad del mercado europeo apenas ha variado a lo largo de los últimos cinco años, además este parámetro es de pequeña magnitud, esto indica que las conexiones potenciales son mucho mayores que las existentes. El número de nodos y conexiones sí que ha variado ligeramente en este tiempo, aunque el cambio no ha sido lo suficientemente significativo como para que la densidad se vea afectada (Figuras 5.1a y 5.1b).

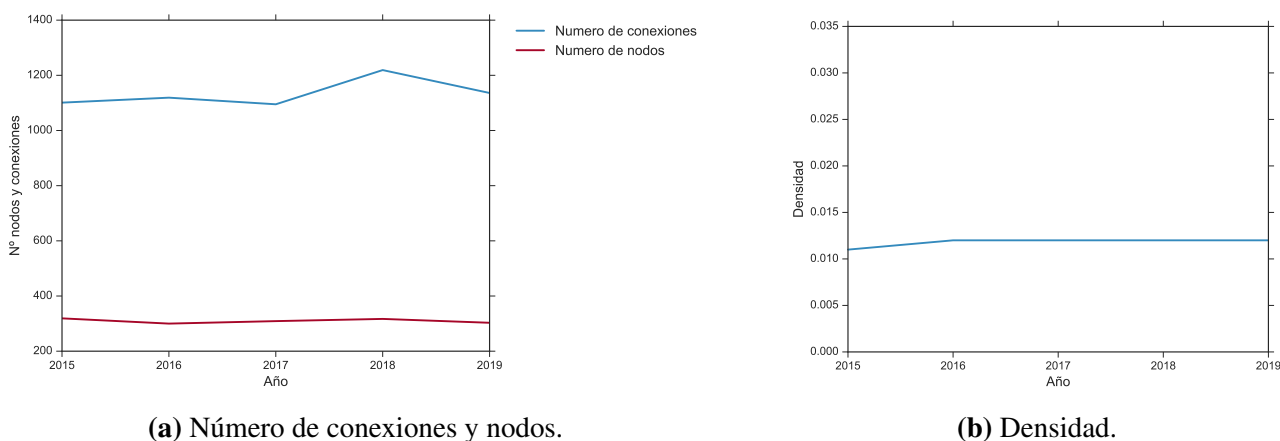


Figura 5.1. Métricas globales del mercado de cruceros europeo.

El grado de centralización en un grafo direccional ha de dividirse en dos atendiendo a las dos direcciones que pueden presentar las conexiones entre los nodos (de entrada y salida). No obstante, se puede obtener un grado de centralización 'global', si el grafo se supone adireccional. Todo lo anterior

explica por qué se muestran tres representaciones distintas (Figura 5.2). El grado de centralización muestra una tendencia negativa hasta el año 2018, lo que puede deberse al incremento de conexiones entre puertos que puede verse en la figura 5.2. Lo que refleja esto es que durante el periodo que va de 2015 a 2018 los puertos importantes fueron perdiendo relevancia. Un grado de centralización elevado indica que el tráfico es debido a un pequeño grupo de puertos importantes y centrales en la red.

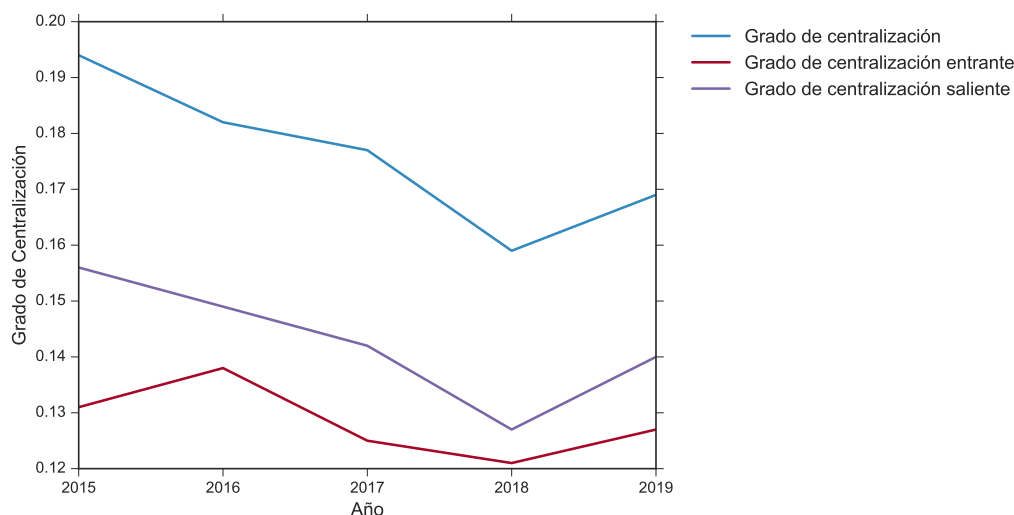


Figura 5.2. Grado de centralización global, saliente y entrante.

Resultados locales

La cantidad de puertos que incluye el tráfico europeo de cruceros durante estos últimos años es inmensa, por lo que la cantidad de datos locales también lo son. Los diez primeros puertos más relevantes se van a representar en dos gráficas distintas para mostrar la mayor cantidad de datos de la forma más clara posible. La leyenda de estas figuras se encuentra ordenada por la importancia general, la cual se estima como la media que tienen los distintos parámetros locales durante los años. Por ejemplo, Dubrovnik tiene un flujo recibido mayor que Barcelona en términos globales, pero particularmente en 2018 no se cumple esta relación (Figura 5.3a). Además, también se va a incluir una tabla que presente los 20 primeros puertos más importantes.

Flujo recibido e iniciado. Las figuras 5.3a y 5.3b muestran los diez puertos con mayor flujo iniciado, en las cuales se refleja la importancia de los tres primeros puertos (Dubrovnik, Barcelona y Palma de Mallorca), la cual, es predominante durante todo el periodo de estudio. Por otro lado, puede observarse como Miconos se posiciona como puerto altamente relevante en el inicio y en el final del tiempo de estudio. Esto puede deberse a la falta de datos que existe durante los años 2016 y 2017 para el puerto de Santorini, el cual está estrechamente conectado con Miconos.

El flujo recibido de los puertos más relevantes se puede observar en las figuras 5.3a y 5.3b. Este parámetro presenta unos resultados muy similares al anterior. El tráfico de cruceros está constituido por un flujo de buques que provienen y se dirigen a un determinado puerto. Esto explica por qué los resultados son muy similares, pues ninguno puede constituirse como una fuente o sumidero de cruceros, del que sólo partan o se dirijan estos buques. Las pequeñas diferencias existentes entre ambas métricas se deben a que no se está trabajando con los datos de todos los puertos a nivel global.

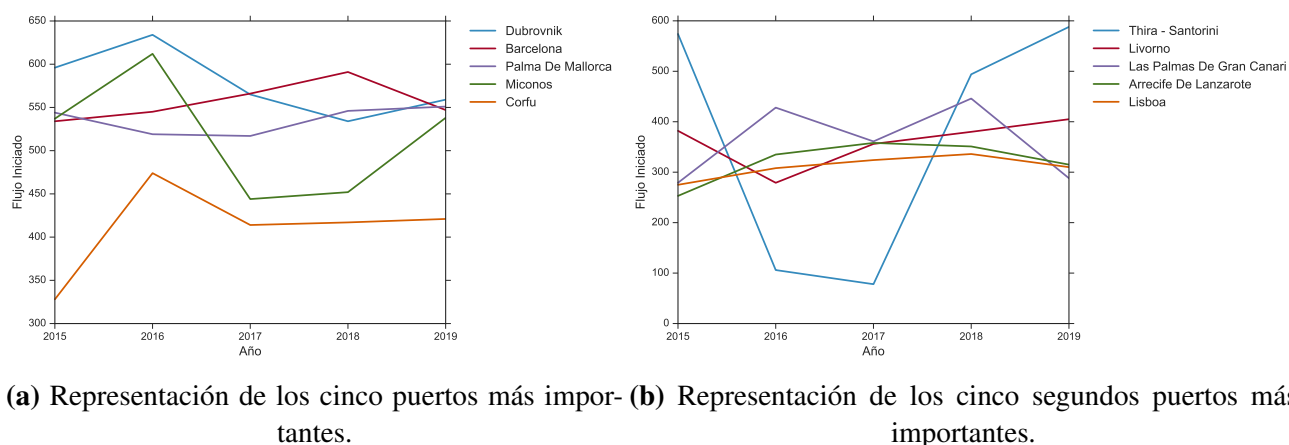


Figura 5.3. Transformación del flujo de cruceros iniciado por los puertos más importantes según esta métrica.

Tabla 5.1. Los 25 puertos con más tráfico iniciado y su flujo durante los años de estudio.

Año	2015	2016	2017	2018	2019
Dubrovnik	596	634	565	534	559
Barcelona	534	545	566	591	547
Palma De Mallorca	544	519	517	546	551
Miconos	537	612	444	452	538
Corfu	328	474	414	417	421
Thira - Santorini	574	106	78	494	588
Livorno	382	279	356	380	405
Las Palmas De Gran Canaria	279	428	361	446	288
Arrecife De Lanzarote	253	335	358	351	315
Lisboa	275	308	324	336	310
Málaga	237	281	298	298	295
Valencia	304	342	345	170	198
Cádiz	250	222	261	270	279
El Pireo	281	161	153	293	345
Funchal	226	217	220	230	210
Katákolo	171	266	253	212	200
Kotor	167	232	229	227	236
Civitavecchia	177	183	220	198	233
Marsella	233	208	217	171	173
Gibraltar	44	223	242	237	197
Bari	146	153	127	210	238
Venecia	196	195	153	152	176
Southampton	78	235	226	209	94
Santa Cruz De Tenerife	166	155	99	224	175
Ibiza	120	138	188	187	163

Desde un punto de vista más local, se puede observar la importancia del Mediterráneo Occidental, dos de los tres puertos más relevantes en ambos parámetros pertenecen a esta zona del Mediterráneo. Otros puertos importantes como Civitavecchia, Marsella o El Pireo, aparecen en posiciones menos relevantes, debido a la falta de datos que se tiene de estos puertos.

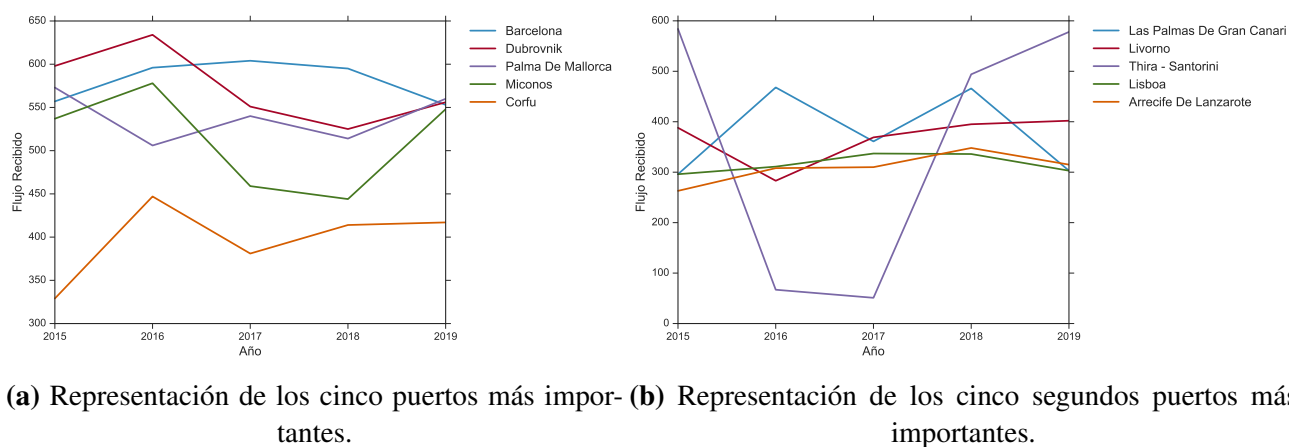


Figura 5.4. Transformación del flujo de cruceros recibidos por los puertos más importantes según esta métrica.

Tabla 5.2. Los 25 puertos con más tráfico recibido y su flujo durante los años de estudio.

Año	2015	2016	2017	2018	2019
Barcelona	557	596	604	595	553
Dubrovnik	598	634	551	525	556
Palma De Mallorca	573	506	540	514	560
Miconos	537	578	459	444	548
Corfu	329	447	381	414	417
Las Palmas De Gran Canaria	296	468	361	466	303
Livorno	388	283	369	395	402
Thira - Santorini	584	67	51	494	578
Lisboa	296	311	337	336	303
Arrecife De Lanzarote	263	308	310	348	315
Valencia	364	359	385	186	189
Málaga	240	278	308	302	302
El Pireo	239	284	273	283	317
Cádiz	260	222	267	295	292
Kotor	186	291	268	200	293
Katákolo	155	258	248	218	202
Funchal	227	211	190	207	211
Santa Cruz De Tenerife	187	173	204	261	219
Venecia	188	229	160	209	170
Gibraltar	40	226	233	228	192
Bari	129	159	135	205	235
Marsella	128	156	162	176	201
Southampton	89	243	216	168	76
Ibiza	126	138	186	156	159
Civitavecchia	124	136	117	167	186

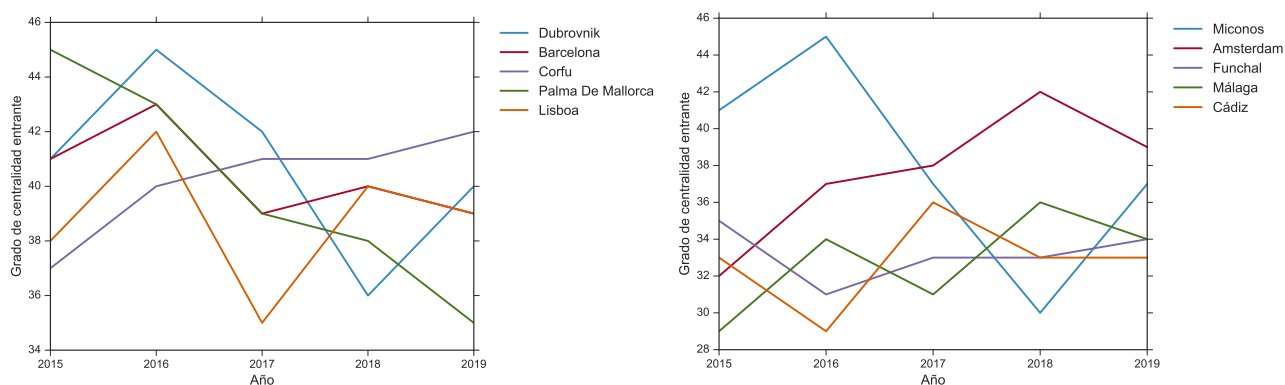
Grado de centralización entrante y saliente. El grado de centralización entrante y saliente se calcula como la cantidad de puertos con los que conecta un puerto. El número de cruceros (flujo) que recibe un puerto estima la importancia del puerto en términos de cantidad y capacidad de atraque,

mientras que la suma de puertos con los que conecta indica la relevancia en términos de conexión. Un ejemplo claro puede ser el puerto de Santorini (578 en 2019), pues es importantes en términos de actividad crucerista que recoge, mientras que la diversidad de puertos con los que conecta es más reducida ya que la mayoría de sus conexiones se encuentran en el Mediterráneo Oriental. Santorini sólo conecta con cuatro puertos exteriores a la zona oriental del Mediterráneo, de hecho, estos puertos se encuentran en la parte más al oriental del Mediterráneo Occidental (Livorno, La Valleta, Nápoles y Civitavecchia).

Las figuras 5.5a y 5.5b representan los diez puertos con mayor centralidad entrante y la evolución de esta medida durante el tiempo de estudio. Los principales puertos siguen siendo Dubrovnik, Barcelona, Corfu, Palma y Miconos debido a que un tráfico tan elevado de cruceros como los que se tienen en este caso, hace que la suma de puertos distintos sea numerosa. La figura 5.5b muestra puertos mayoritariamente atlánticos. Precisamente, la situación geográfica de dichos puertos les permite conectar con un alto número de puertos pues actúan como puntos de conexión entre distintas zonas de tráfico, concretamente las más importantes del mundo (El Caribe y el Mediterráneo).

Los diez puertos más relevantes en términos de centralidad saliente pueden verse representados en las figuras 5.6a y 5.6b. La posición que ocupa Lisboa refleja la alta conectividad de los puertos atlánticos. Además, la figura 5.6b muestra un puerto fundamental en el tráfico de cruceros mediterráneo, Gibraltar. La inexistencia de datos que se tienen de este puerto para el año 2015 (se aprecia claramente en la figura 5.6b) ha hecho que su importancia global disminuyese situándolo en posiciones secundarias (Tabla 5.3). No obstante, Gibraltar se ha constituido como puerto clave en las rutas entre el Atlántico y Mediterráneo.

La tendencia de la centralización a nivel global de la que se ha hablado anteriormente (Figura 5.1b) se puede ver confirmada en los descensos del grado de centralización llevadas a cabo por los principales puertos de figuras 5.5a y 5.5b. Un ejemplo de esto pueden ser Dubrovnik, Palma, Miconos o Cádiz en el grado de centralización entrante. Aún más notable es la bajada si se considera la centralización saliente con puertos como Lisboa, Barcelona, Miconos, Palma que son cuatro de los cinco más importantes.

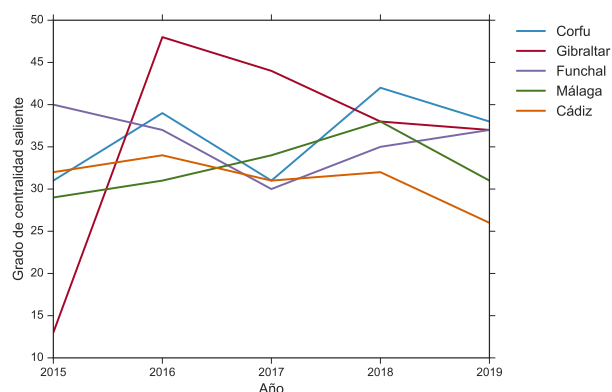
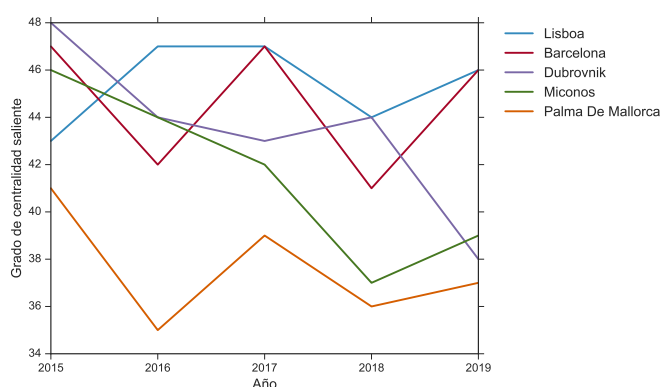


(a) Representación de los cinco primeros puertos más importantes. (b) Representación de los cinco segundos puertos más importantes.

Figura 5.5. Transformación del grado de centralización entrante por los puertos más importantes según esta métrica.

Tabla 5.3. Los 25 puertos con mayor grado de centralización entrante durante los años de estudio.

Año	2015	2016	2017	2018	2019
Dubrovnik	41	45	42	36	40
Barcelona	41	43	39	40	39
Corfu	37	40	41	41	42
Palma De Mallorca	45	43	39	38	35
Lisboa	38	42	35	40	39
Miconos	41	45	37	30	37
Amsterdam	32	37	38	42	39
Funchal	35	31	33	33	34
Málaga	29	34	31	36	34
Cádiz	33	29	36	33	33
Gibraltar	10	37	34	34	33
Livorno	27	24	31	32	30
Katákolo	18	25	26	31	28
Thira - Santorini	43	7	3	33	33
Las Palmas De Gran Canaria	22	23	22	29	19
Valencia	19	21	22	24	23
Ibiza	18	20	26	26	16
Mahón	23	19	21	21	21
Arrecife De Lanzarote	16	22	20	25	18
Bari	14	16	13	18	20
Gotemburgo	14	11	17	16	17
Southampton	10	12	13	13	8
La Valletta	8	12	11	12	10
Puerto Del Rosario	11	9	11	13	8
Civitavecchia	9	10	10	12	9

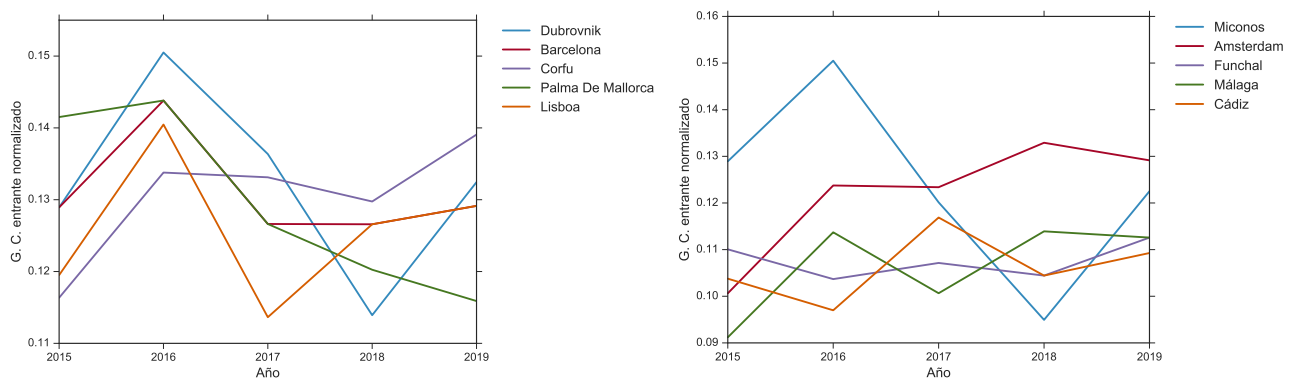


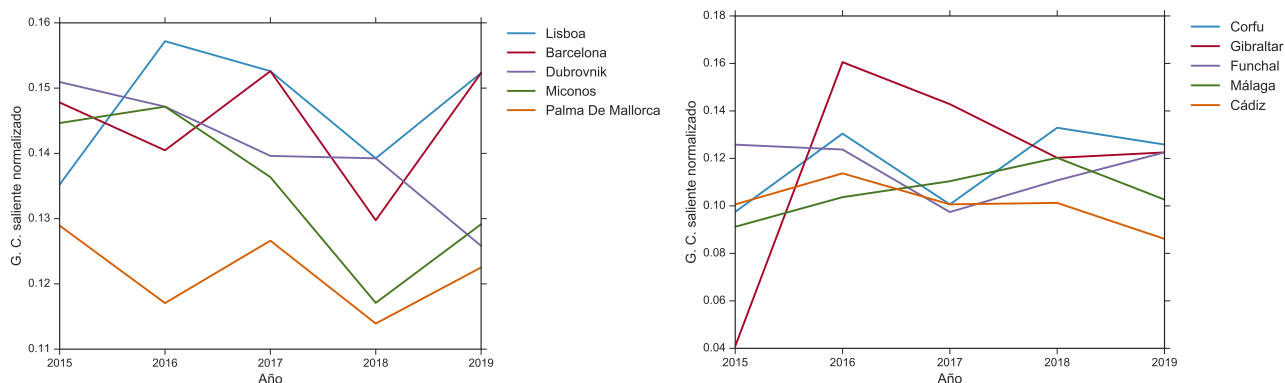
(a) Representación de los cinco primeros puertos más importantes. (b) Representación de los cinco segundos puertos más importantes.

Figura 5.6. Transformación del grado de centralización saliente por los puertos más importantes según esta métrica.

Tabla 5.4. Los 25 puertos con mayor grado de centralización saliente durante los años de estudio.

Año	2015	2016	2017	2018	2019
Lisboa	43	47	47	44	46
Barcelona	47	42	47	41	46
Dubrovnik	48	44	43	44	38
Miconos	46	44	42	37	39
Palma De Mallorca	41	35	39	36	37
Corfu	31	39	31	42	38
Gibraltar	13	48	44	38	37
Funchal	40	37	30	35	37
Málaga	29	31	34	38	31
Cádiz	32	34	31	32	26
Amsterdam	33	31	25	33	33
Thira - Santorini	53	8	4	38	38
Livorno	26	22	26	32	30
Katákolo	20	28	25	28	31
Arrecife De Lanzarote	19	27	24	31	21
Ibiza	13	21	23	30	23
Mahón	23	20	20	29	18
Valencia	18	22	23	26	18
Las Palmas De Gran Canari	19	22	22	24	15
Gotemburgo	17	15	15	14	13
Bari	9	13	11	14	17
La Valletta	11	10	12	13	9
Puerto Del Rosario	8	9	13	14	7
Southapmton	6	12	10	11	8
Civitavecchia	9	11	6	9	10

**(a)** Representación de los cinco primeros puertos más importantes. **(b)** Representación de los cinco segundos puertos más importantes.**Figura 5.7.** Transformación del grado de centralización entrante normalizado por los puertos más importantes según esta métrica.

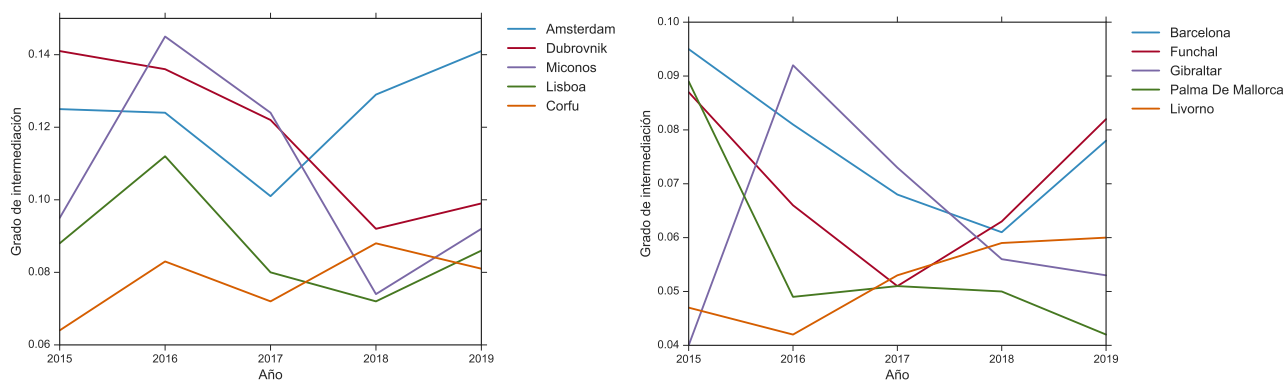


(a) Representación de los cinco primeros puertos más importantes. (b) Representación de los cinco segundos puertos más importantes.

Figura 5.8. Transformación del grado de centralización saliente normalizado por los puertos más importantes según esta métrica.

Las anteriores gráficas podrían normalizarse (tal y como se describe en el capítulo 2) pues la comparación sería más justa ya que en cada año el número de puertos totales varía, y por tanto la importancia relativa del grado de centralización. No obstante, la información adicional que se obtiene es apenas relevante pues aunque la morfología de las gráficas varíe levemente, no lo hace el orden de los puertos ni las tendencias anteriormente descritas (Figuras 5.7a, 5.7b, 5.8a y 5.8b).

Grado de intermediación. El grado de intermediación que tienen los principales puertos y su evolución durante el tiempo de estudio se muestran en las figuras 5.9a y 5.9b. Estas imágenes confirman las tendencias que se han venido observando con el grado de centralidad. Lisboa se constituye como el principal punto de conexión entre zonas geográficas. Por otro lado, Amsterdam se consolida como uno de los principales puertos de cruceros en el Norte de Europa, pues aunque su flujo de cruceros no sea elevado sí lo es el número de puertos con los que conecta. Por último, se tienen que destacar los puertos de Gibraltar, y Funchal, la importancia del primero ya se ha visto anteriormente. El alto grado de intermediación que posee Funchal puede deberse a la posición geográfica que ocupa, pues es un punto idóneo donde conectar los cruceros que debido al cambio de temporada se reposicionan en otras zonas, generalmente El Caribe.



(a) Representación de los cinco primeros puertos más importantes. (b) Representación de los cinco segundos puertos más importantes.

Figura 5.9. Transformación del grado de intermediación de los puertos más importantes según esta métrica.

Tabla 5.5. Los 25 puertos con mayor grado de intermediación durante los años de estudio.

Año	2015	2016	2017	2018	2019
Amsterdam	0,125	0,124	0,101	0,129	0,141
Dubrovnik	0,141	0,136	0,122	0,092	0,099
Miconos	0,095	0,145	0,124	0,074	0,092
Lisboa	0,088	0,112	0,080	0,072	0,086
Corfu	0,064	0,083	0,072	0,088	0,081
Barcelona	0,095	0,081	0,068	0,061	0,078
Funchal	0,087	0,066	0,051	0,063	0,082
Gibraltar	0,040	0,092	0,073	0,056	0,053
Palma De Mallorca	0,089	0,049	0,051	0,050	0,042
Livorno	0,047	0,042	0,053	0,059	0,060
Cádiz	0,052	0,042	0,043	0,043	0,064
Thira - Santorini	0,104	0,003	0,000	0,060	0,067
Katákoló	0,017	0,054	0,046	0,052	0,059
Gotemburgo	0,040	0,035	0,059	0,037	0,048
Las Palmas De Gran Canari	0,036	0,037	0,048	0,051	0,015
Málaga	0,034	0,031	0,028	0,050	0,038
La Valletta	0,028	0,038	0,035	0,042	0,022
Arrecife De Lanzarote	0,014	0,032	0,032	0,032	0,010
Southampton	0,030	0,019	0,033	0,022	0,012
Ibiza	0,010	0,021	0,021	0,023	0,025
Civitavecchia	0,018	0,018	0,008	0,017	0,030
Mahón	0,028	0,010	0,017	0,022	0,013
Bari	0,015	0,018	0,011	0,019	0,020
Valencia	0,016	0,008	0,017	0,023	0,015
Nápoles	0,015	0,015	0,008	0,018	0,015

Índice Hub. El índice *hub* estima la relevancia de un puerto dentro de la red dependiendo de la importancia que tengan los puertos con los que éste se encuentre conectado.

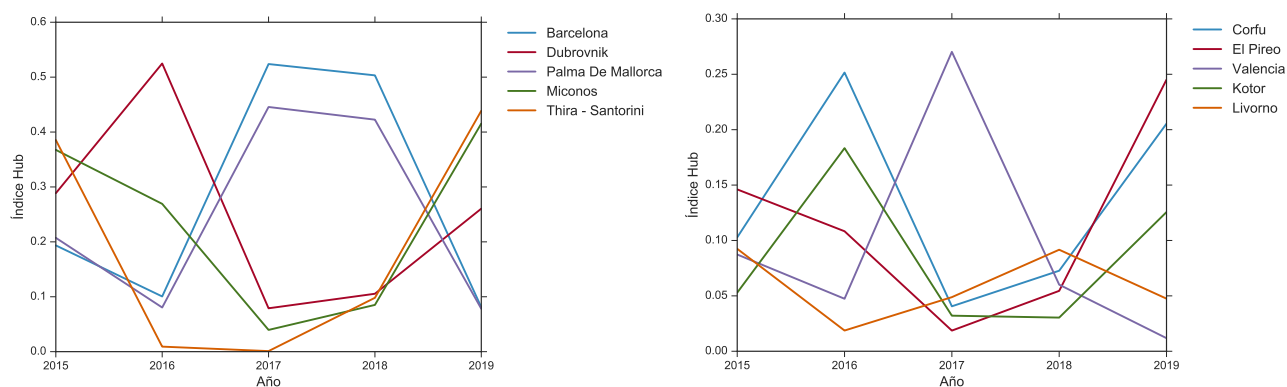
**Figura 5.10.** Transformación del índice *hub* de los puertos más importantes según esta métrica.

Tabla 5.6. Los 25 puertos con mayor índice *hub* durante los años de estudio.

Año	2015	2016	2017	2018	2019
Barcelona	0,19351	0,10055	0,52387	0,50326	0,08097
Dubrovnik	0,28859	0,52487	0,07899	0,10546	0,26047
Palma De Mallorca	0,20734	0,08044	0,44565	0,42255	0,07812
Miconos	0,36753	0,26919	0,03958	0,08514	0,41543
Thira - Santorini	0,38546	0,00916	0,00100	0,09809	0,43873
Corfu	0,10281	0,25158	0,04057	0,07269	0,20542
El Pireo	0,14609	0,10831	0,01864	0,05452	0,24514
Valencia	0,08732	0,04739	0,27025	0,06010	0,01182
Kotor	0,05291	0,18332	0,03211	0,03038	0,12563
Livorno	0,09246	0,01870	0,04883	0,09164	0,04748
Las Palmas De Gran Canaria	0,02067	0,05037	0,03789	0,15498	0,00199
Málaga	0,04023	0,02412	0,07863	0,06625	0,01393
Venecia	0,04714	0,10387	0,00998	0,02107	0,03732
Marsella	0,02578	0,01452	0,08287	0,07641	0,01588
Katákolo	0,02708	0,08122	0,01711	0,02321	0,05852
Cádiz	0,05214	0,01394	0,05154	0,06289	0,01348
Arrecife De Lanzarote	0,01983	0,02390	0,03517	0,09342	0,00362
Lisboa	0,03150	0,02018	0,05051	0,05917	0,00742
Bari	0,01740	0,04064	0,00532	0,02109	0,06875
Ibiza	0,01302	0,00788	0,06530	0,04392	0,00736
Civitavecchia	0,01961	0,00995	0,01776	0,03451	0,02706
Gibraltar	0,00128	0,01273	0,04364	0,04180	0,00498
Santa Cruz De Tenerife	0,00966	0,00937	0,01130	0,06147	0,00135
Southampton	0,00366	0,01614	0,02571	0,02635	0,00056
Cartagena	0,00494	0,00486	0,03492	0,01648	0,00261

Atendiendo a la definición de índice *hub* que acaba de hacerse, es predecible que puertos muy conectados entre sí como son Miconos y Santorini, o Barcelona y Palma tengan un índice *hub* tan elevado, pues son puertos importantes con una relación muy estrecha entre sí. Lo verdaderamente relevante de este parámetro es que puertos cuyos datos no se han utilizado para este estudio y que son importantes aparecen en las primeras posiciones como es el caso de El Pireo. Existen otros puertos que se encuentran en la misma situación que El Pireo ya que apenas son relevantes si se evalúan otros parámetros pues sus datos son desconocidos, y aún así se pueden ver en la tabla 5.6 en puestos intermedios (Venecia, Marsella y Civitavecchia).

Grafos

Los grafos se van a dividir en zonas, debido a que la representación de la red de cruceros europea es demasiado extensa y complicada como para mostrarla en un sólo grafo. Todas las tendencias que se han visto en las gráficas anteriores se van a demostrar y contrastar con los grafos que se representan a continuación. Además, se van a presentar las métricas globales de cada región con el objetivo de poder entender en profundidad el mercado de cruceros europeo. Por último, comentar que el grado de centralización que se muestra en las siguientes tablas es el global (que no tienen en cuenta las direcciones de las conexiones). Esto se ha hecho así, por intentar no extender demasiado este capítulo.

El orden de dichos grafos va a ser el siguiente:

- Norte de Europa: los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019 (Figuras 5.11, 5.12, 5.13, 5.14, 5.15 respectivamente).
- Atlántico: los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019 (Figuras 5.16, 5.17, 5.18, 5.19, 5.20 respectivamente).
- Mediterráneo Oriental: los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019 (Figuras 5.21, 5.22, 5.23, 5.24, 5.25 respectivamente).
- Mediterráneo Occidental: los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019 (5.26, 5.27, 5.28, 5.29, 5.30 Figuras respectivamente).

El Norte de Europa. El número de nodos y el de conexiones han fluctuado de forma similar durante el tiempo de estudio. Esto ha producido que la densidad se mantenga casi estable, pues se puede apreciar un aumento de densidad en el año 2016. Por otro lado, el grado de centralización ha tenido un comportamiento de 'v', alcanzando su mínimo el año 2017. La oscilación de este último parámetro se puede explicar analizando los grafos. Los puertos centrales del Norte de Europa son tres: Southampton, Amsterdam y Gotemburgo, pues en torno a ellos se forma el tráfico de cruceros en esta zona. El año 2017, es el único en que este trío de puertos no están unidos entre sí, lo que deriva en un grado de centralización menor, pues la '*importancia*' de éstos disminuye en comparación con otros años en los que sí existe conexión entre ellos (Figura 5.13).

Tabla 5.7. Medidas globales de la red interportuaria del tráfico de cruceros en el Norte de Europa.

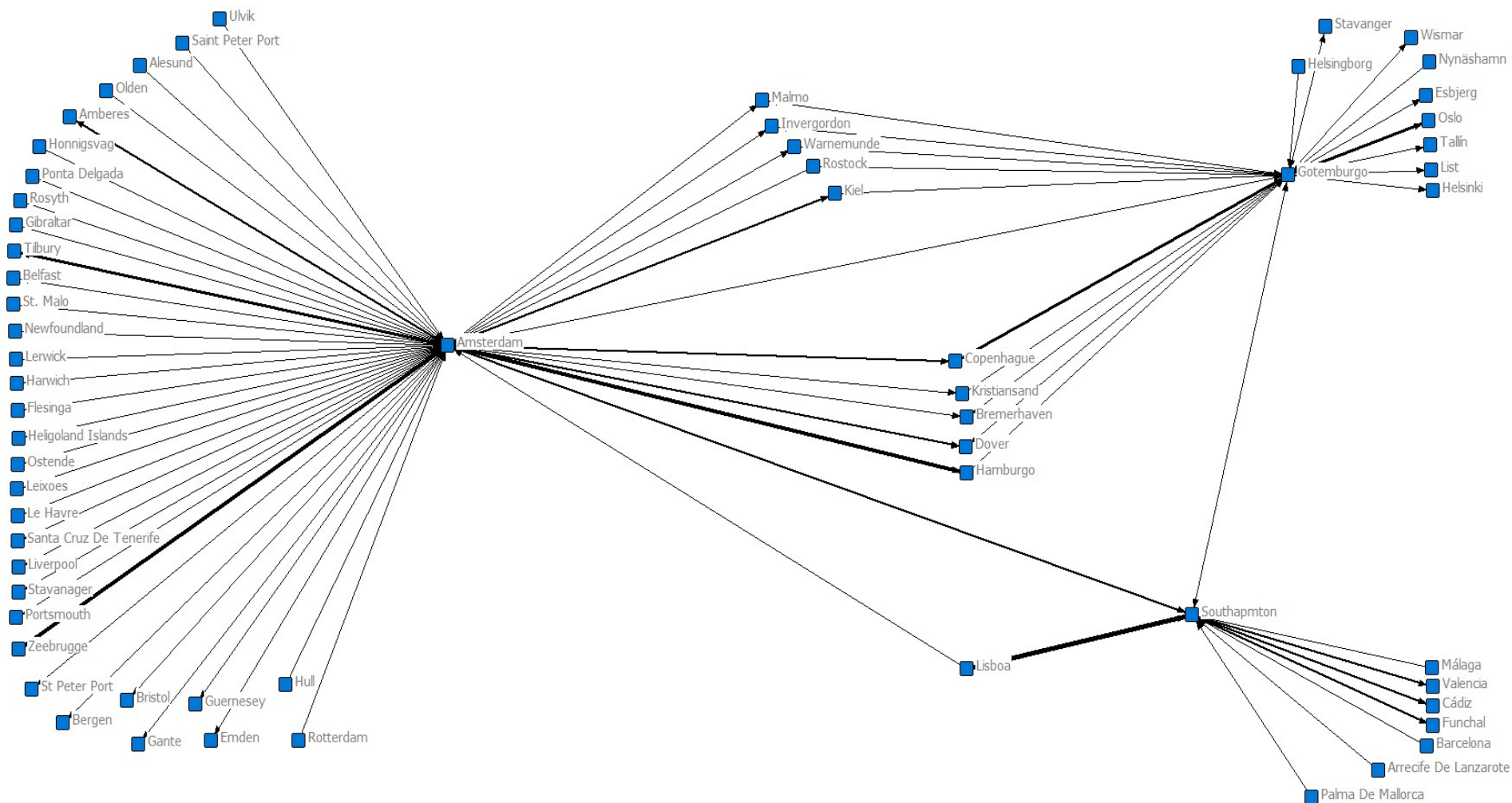
Año	Número de nodos	Número de conexiones	Densidad	Grado de centralización
2015	65	106	0,025	0,720
2016	64	113	0,028	0,699
2017	67	114	0,026	0,651
2018	71	124	0,025	0,686
2019	68	115	0,025	0,718

Atendiendo a las métricas locales que se han calculado anteriormente es posible obtener las siguientes conclusiones de cada una de éstas:

- Flujo recibido e iniciado: Southampton es el puesto número 23 en ambos parámetros, y el único puerto del norte de Europa que se encuentra entre los 25 primeros, lo cual indica que el volumen de cruceros que existe en el Norte de Europa no es elevado (Tabla 5.1 y 5.2).
- Grado de centralización: los tres puertos que están entre los 25 primeros pueden considerarse como los principales de esta región. Amsterdam aparece como puerto muy destacado debido a la gran cantidad de puertos con los que conecta. De igual forma Gotemburgo ocupa un lugar intermedio en las tablas 5.3 y 5.4. Por último Southampton también aparece, aunque no en una posición tan relevante como los anteriores. Esto indica que tanto Amsterdam como Gotemburgo tienen una multitud de conexión, pero que la intensidad de éstas es baja.
- Grado de intermediación: los puertos de Amsterdam y Gotemburgo vuelven a ser importantes en esta métrica. Esto es normal si se tiene en cuenta la centralización que existe en la red de

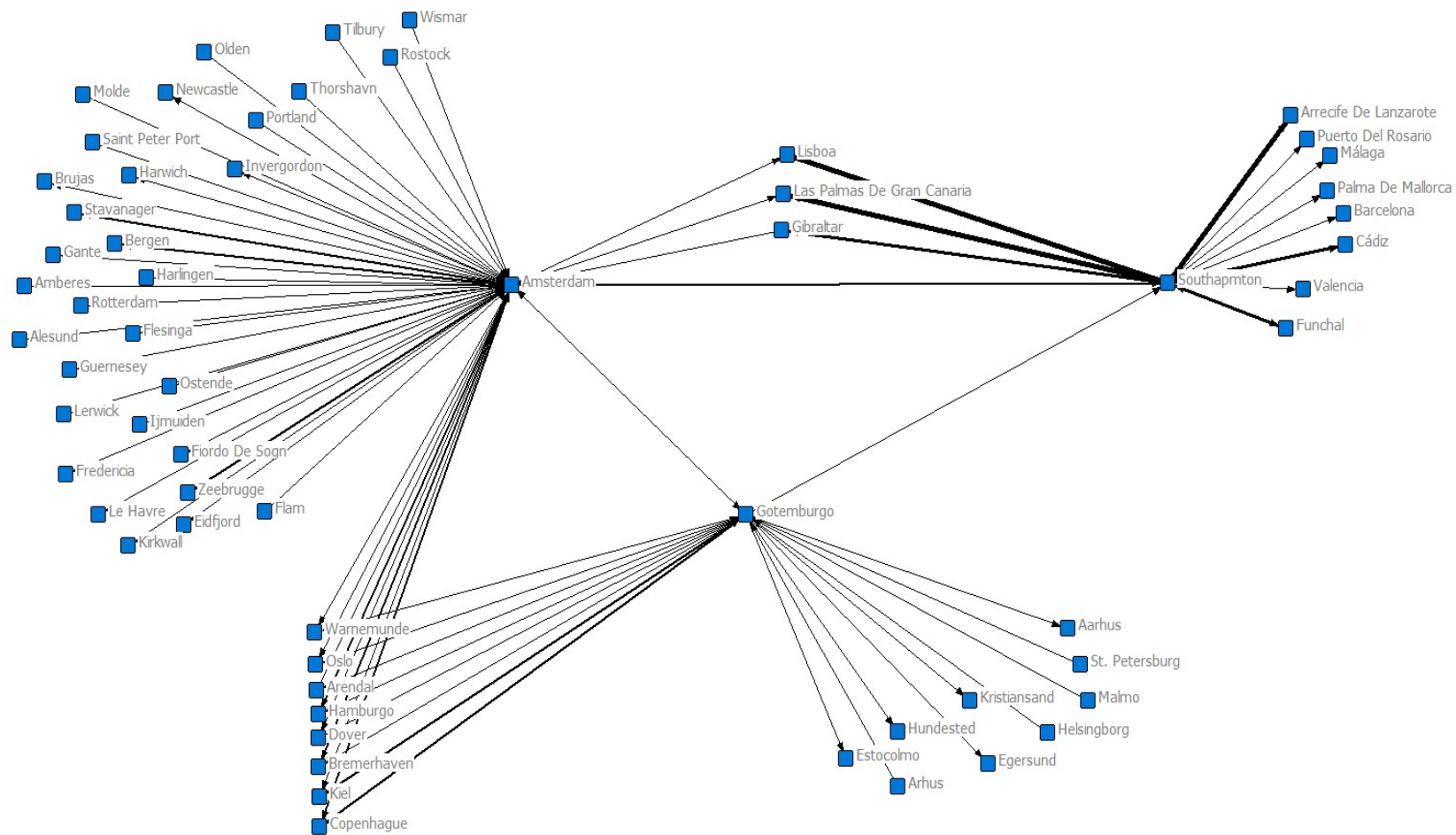
cruceros en el Norte de Europa, donde el tráfico gira entorno a unos pocos puertos (Amsterdam, Gotemburgo y Southampton) (Tabla 5.5).

- Índice *Hub*: este último parámetro muestra al puerto de Southampton entre los 25 puertos más relevantes de toda Europa (Tabla 5.6). Esto revela que las conexiones de Southampton tienen más importancia que las de Amsterdam o Gotemburgo. En los grafos que se muestran a continuación se puede ver fácilmente, pues Southampton conecta con puertos de otras zonas geográficas (Barcelona, Palma, Funchal, etc). Todo lo anterior hace pensar en Southampton como *hub* global pues es el puerto de entrada al Norte de Europa, desde este punto el tráfico es dirigido a Amsterdam y Gotemburgo que actúan como *hubs* pero con importancia local, no global.



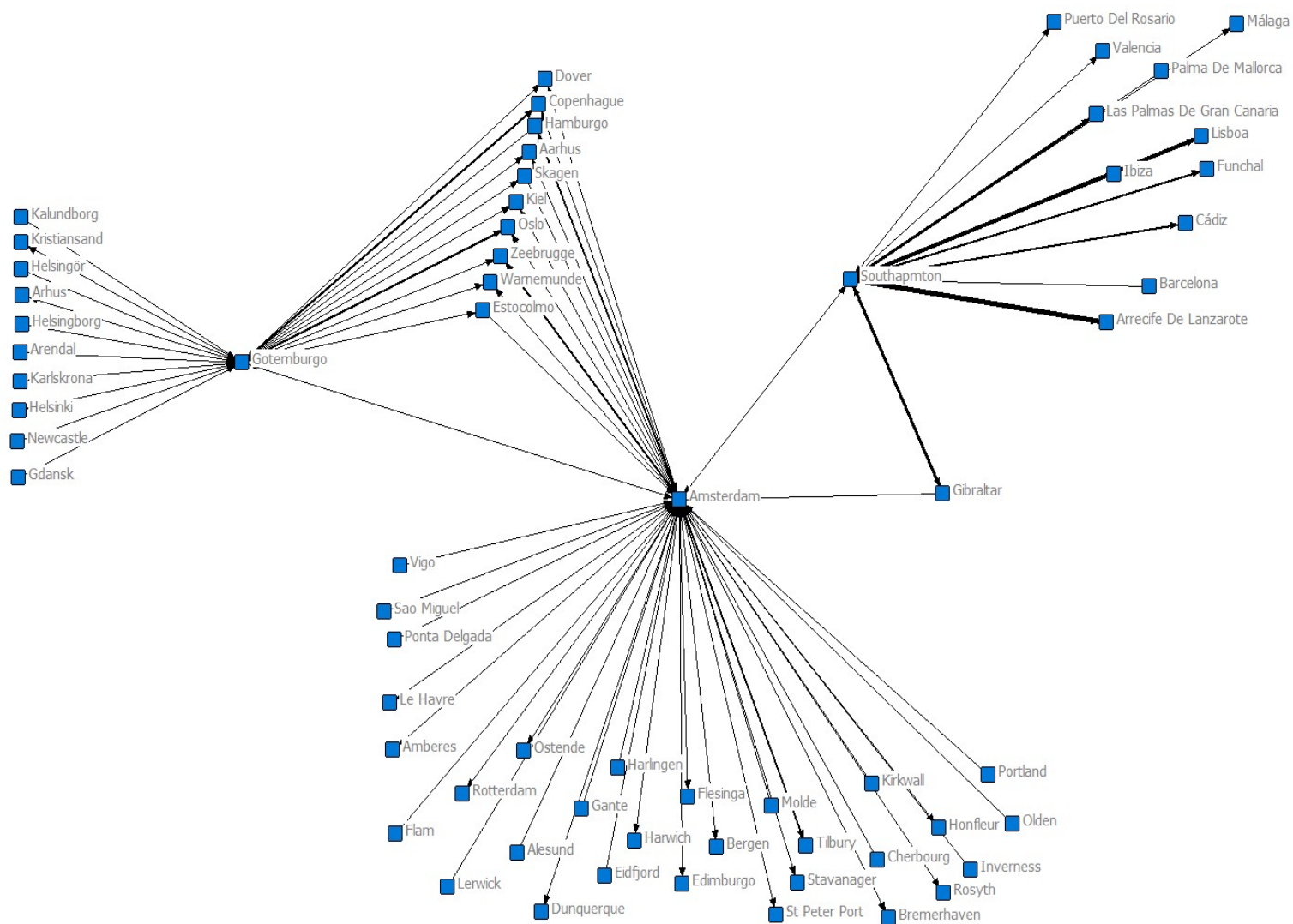
Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.11. Grafo del tráfico de cruceros en el Norte de Europa para el año 2015. Las líneas de



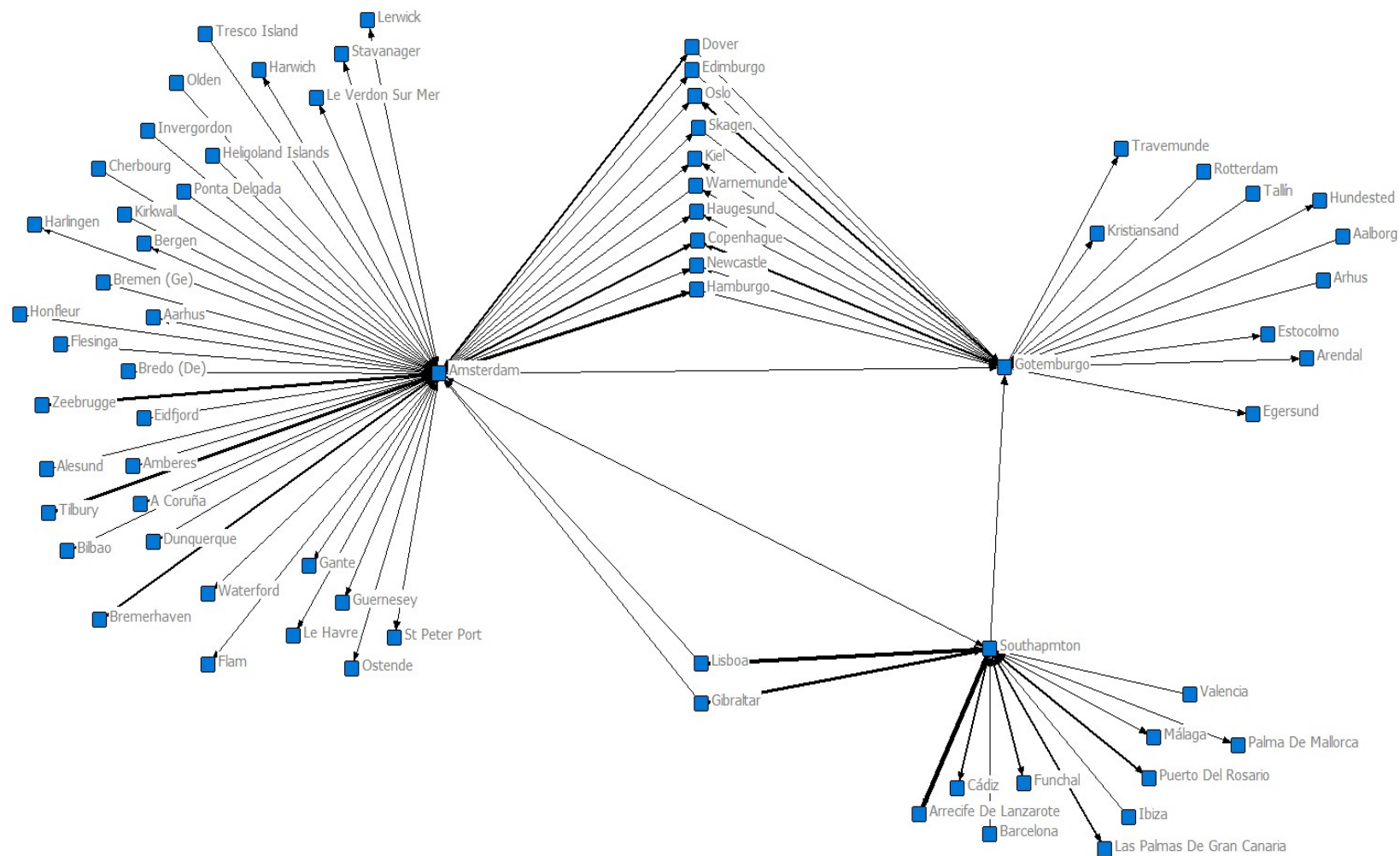
Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.12. Grafo del tráfico de cruceros en el Norte de Europa para el año 2016



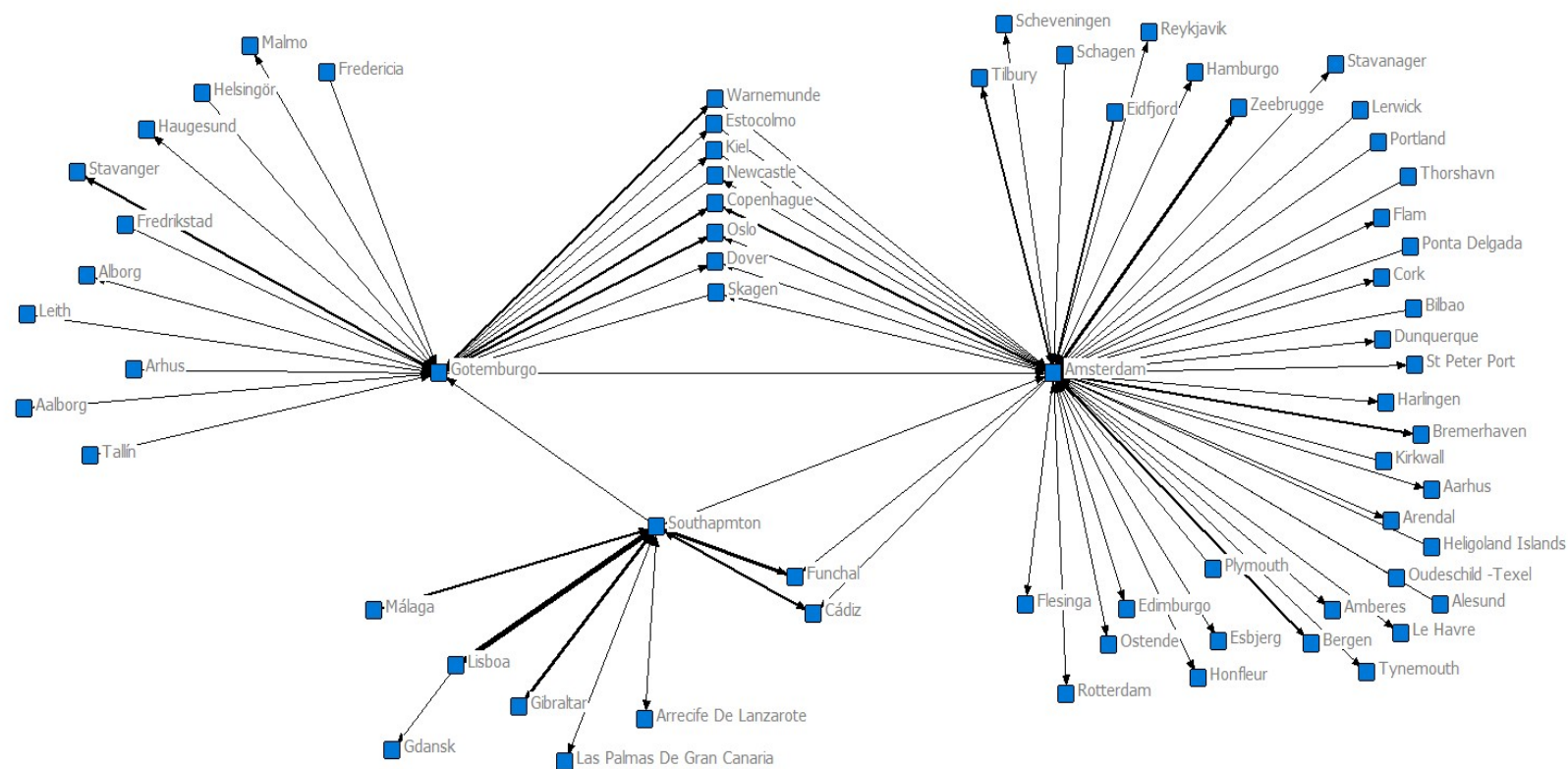
Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.13. Grafo del tráfico de cruceros en el Norte de Europa para el año 2017



Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.14. Grafo del tráfico de cruceros en el Norte de Europa para el año 2018



Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.15. Grafo del tráfico de cruceros en el Norte de Europa para el año 2019

El Atlántico. El conjunto de puertos analizados del océano Atlántico está formado por: Arrecife, Cádiz, Funchal, Las Palmas de Gran Canaria, Lisboa y Puerto del Rosario. Los parámetros globales, y su evolución durante el tiempo de estudio se presentan en la tabla 5.8. El número de nodos y conexiones ha fluctuado durante los cinco años de estudio, aunque no de forma notable. La densidad también ha variado, aunque en la última parte del estudio muestra una tendencia positiva. Por último el grado de centralización, que de igual forma que la densidad ha mostrado una tendencia positiva en los últimos años de estudio llegando en 2019 a superar el grado de centralización del año 2015.

Tabla 5.8. Medidas globales de la red interportuaria del tráfico de cruceros en el Océano Atlántico.

Año	Número de nodos	Número de conexiones	Densidad	Grado de centralización
2015	112	304	0,024	0,444
2016	123	385	0,026	0,432
2017	124	369	0,024	0,413
2018	122	391	0,026	0,425
2019	107	340	0,030	0,496

El elevado número de nodos y conexiones revela que la actividad crucerista en esta zona es considerable. No obstante, el grado de centralización elevado muestra una red en la que el tráfico se agrupa en torno a algunos puertos. Esto último confirma la idea de que esta zona sea denominada como de paso, pues conecta muchos puertos de distintas zonas a través de un pequeño número de nodos. Además este efecto se ha acentuado durante el tiempo de estudio pues el grado de centralidad presenta una tendencia positiva.

Las métricas locales que se han calculado anteriormente estiman los puertos más relevantes para cada uno de estos parámetros. No obstante, antes de enumerar los puertos más importantes, ha de tener en cuenta que Málaga es un puerto mediterráneo que se muestra entre los más relevantes del Atlántico, a pesar de que los datos de Málaga no se han tenido en cuenta para realizar los grafos. Esto se debe a la importante conexión que tienen varios puertos Atlánticos con su homónimo andaluz.

- Flujo recibido e iniciado: los puertos atlánticos con mayores flujos son Las Palmas, Arrecife, Lisboa, Málaga y Cádiz (Tablas 5.1 y 5.2).
- Grado de centralización entrante y saliente: los puertos de esta región más importantes según este parámetro son Lisboa, Funchal, Málaga, Cádiz y Gibraltar para sendos grados de centralización, aunque el orden varía de uno al otro (Tablas 5.3 y 5.4).
- Grado de intermediación: el conjunto más destacado de puertos atlánticos según este parámetro es en este caso Lisboa, Funchal y Gibraltar (Tabla 5.5).
- Índice *Hub*: por último los puertos de este área geográfica más importantes según esta medida son Las Palmas, Málaga, Cádiz, Arrecife y Lisboa (Tabla 5.6).

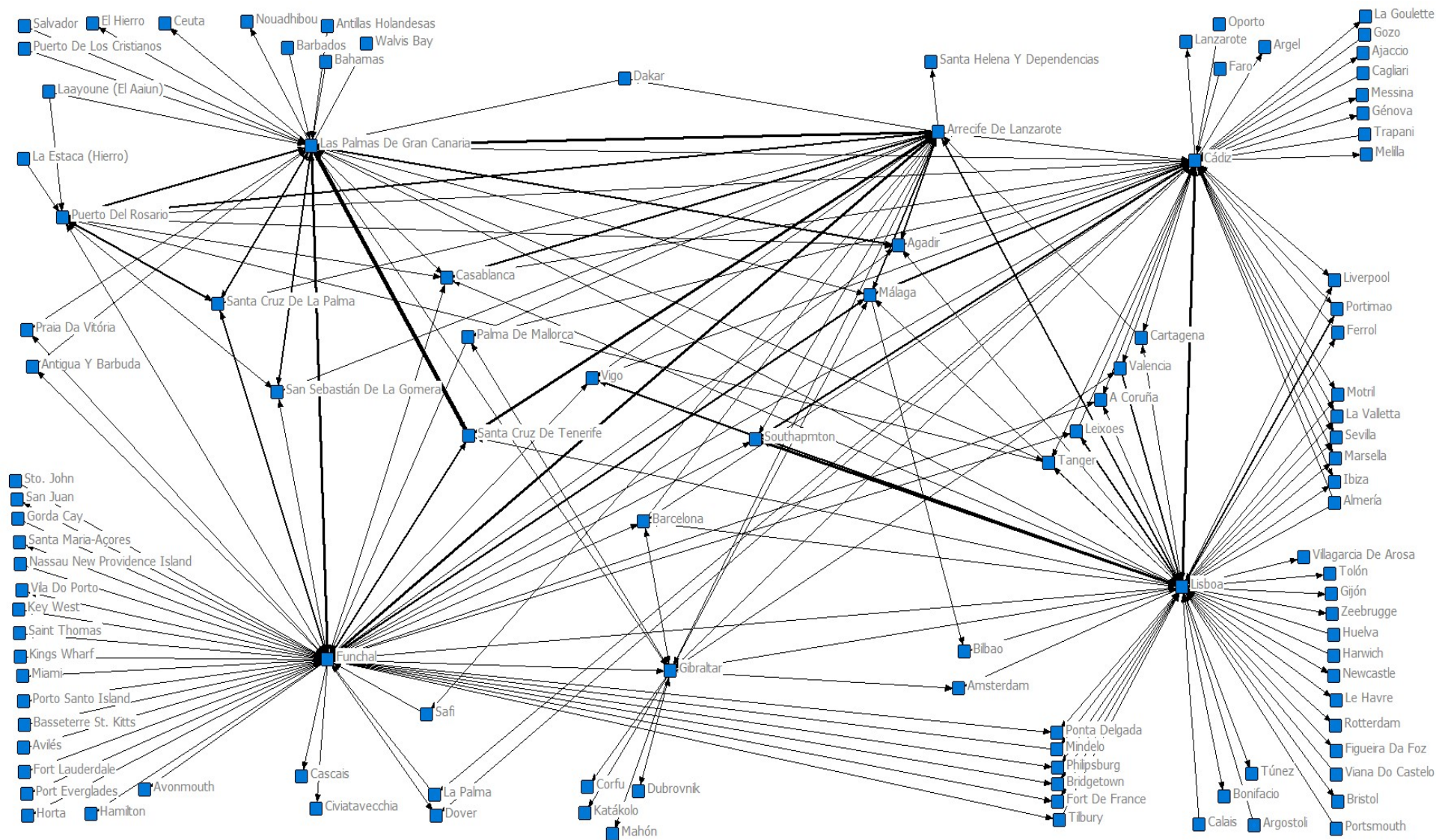
Lisboa se ha constituido en estos años como uno de los puertos portugueses de cruceros más relevantes. El volumen de este tráfico que pasa por Lisboa se encuentra entre los diez primeros, además, este flujo ha crecido ligeramente en los años de estudio. El grado de centralización que posee Lisboa es también elevado, siendo el quinto en el caso de grado de centralización entrante, y el primero de todos si se considera el saliente. Este puerto puede considerarse un *hub* porque además de lo anterior, su grado de intermediación es también relevante. Los grafos que representan la red de

tráfico en el Atlántico confirman todo lo anterior, y además muestran a Lisboa como un puerto que conecta el Norte de Europa con el Atlántico y algunos puertos del Mediterráneo Occidental.

Funchal puede considerarse como otro de los puertos portugueses más importantes en términos de volumen de cruceros. El grado de centralización entrante y saliente hacen de Funchal un puerto importante dentro de la red debido a la cantidad de puertos con los que conecta. El grado de intermediación elevado que tienen Funchal se puede comprobar paralelamente observando los grafos ya que actúa como puerto de conexión entre el Atlántico y América. La intensa relación de Funchal con puertos americanos y caribeños (Miami, Hamilton y Antigua y Barbuda), indica la presencia de itinerarios de reposicionamiento del eje Caribe-Europa. El HACC de este puerto puede parecer bajo teniendo en cuenta que conecta con importantes puertos de la costa Americana, pero el algoritmo aplicado no distingue la importancia de puertos externos a la red, y de los que no se tienen datos como como Miami o Fort Lauderdale.

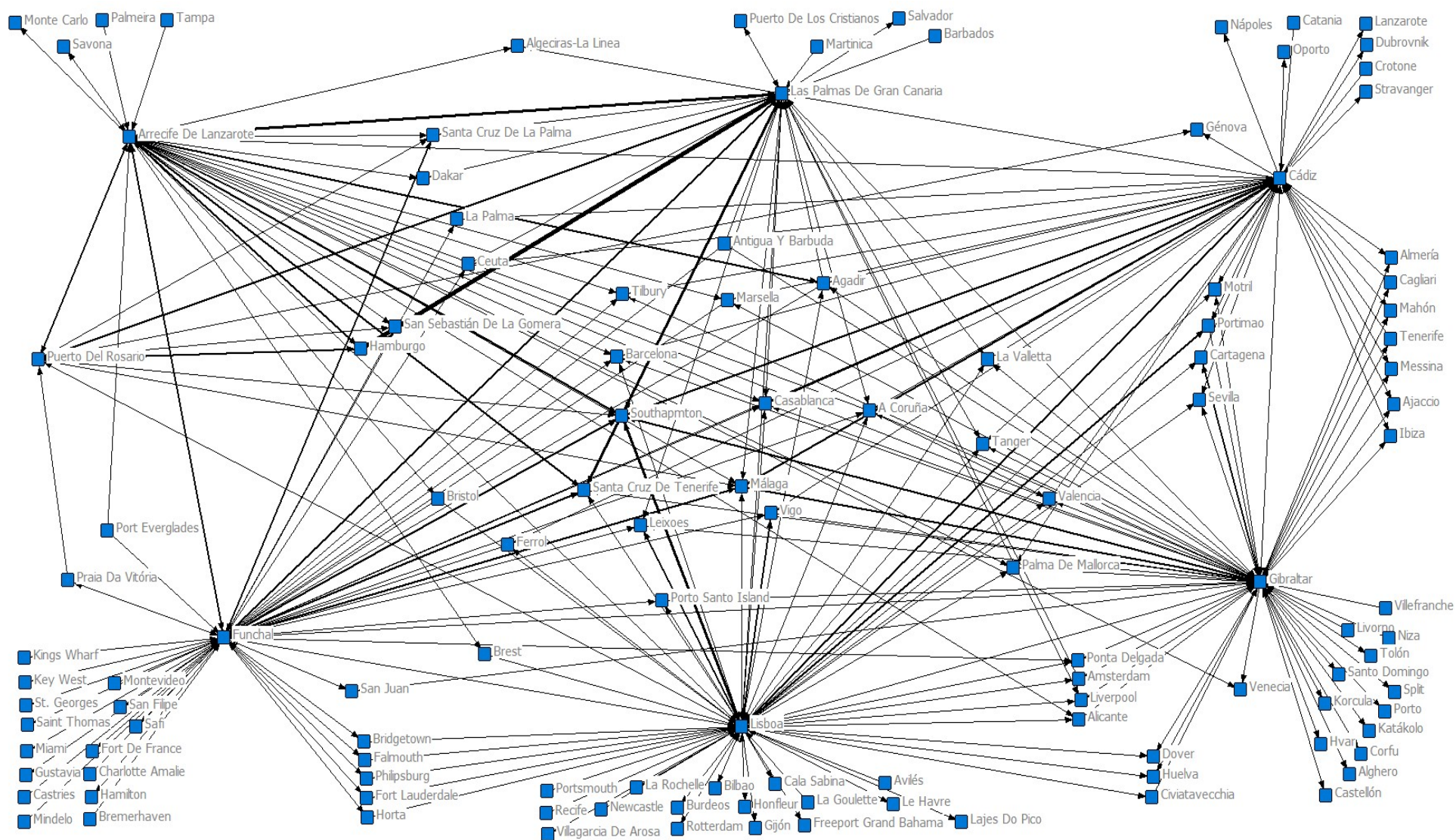
Las islas Canarias cuentan con numerosos puertos de cruceros, siendo los más importantes: Las Palmas de Gran Canaria, Arrecife de Lanzarote y Santa Cruz de Tenerife. El volumen de tráfico ha tenido una tendencia ascendente en el caso de Las Palmas y Arrecife. A pesar de esto, el grado de centralización es algo menor, pues existe un intenso tráfico entre estos puertos lo que implica un elevado número de cruceros pero menor cantidad de puertos distintos. No obstante, también tienen relación con importantes enclaves atlánticos como Funchal y otros puertos españoles, especialmente de la costa Atlántica. Asimismo, para el caso de Las Palmas de Gran Canaria también se obtienen conexiones con puertos caribeños de forma análoga a los resultados obtenidos para Funchal. Por otro lado, estos puertos conectan también con terminales canarias de cruceros más pequeñas como Puerto del Rosario, Gran Tarajal, San Sebastián de la Gomera, El Hierro o Santa Cruz de la Palma. El índice *Hub* en este caso es mayor que el de Funchal debido a que la conexión con puertos Mediterráneos es mayor que la del archipiélago portugués, y el elevado flujo de cruceros.

Gibraltar tiene una localización favorable para ser un puerto de conexión. Esta afirmación se comprueba observando el grado de centralización e intermediación estableciéndose como puerto relevante en la red. Gibraltar, al igual que Lisboa se considera un puerto de conexión que une dos zonas geográficas, con la salvedad de que el primer puerto conecta el Atlántico con el Mediterráneo, mientras que el puerto luso hace lo propio con la región del Norte de Europa y el Océano Atlántico. Por último, Cádiz también actúa como puerto intermedio, pues conecta importantes puertos del Mediterráneo (Dubrovnik y El Pireo) y del Norte de Europa (Ámsterdam o Southampton). El papel desarrollado por Cádiz es similar al de Gibraltar, pero concentrando puertos españoles principalmente.



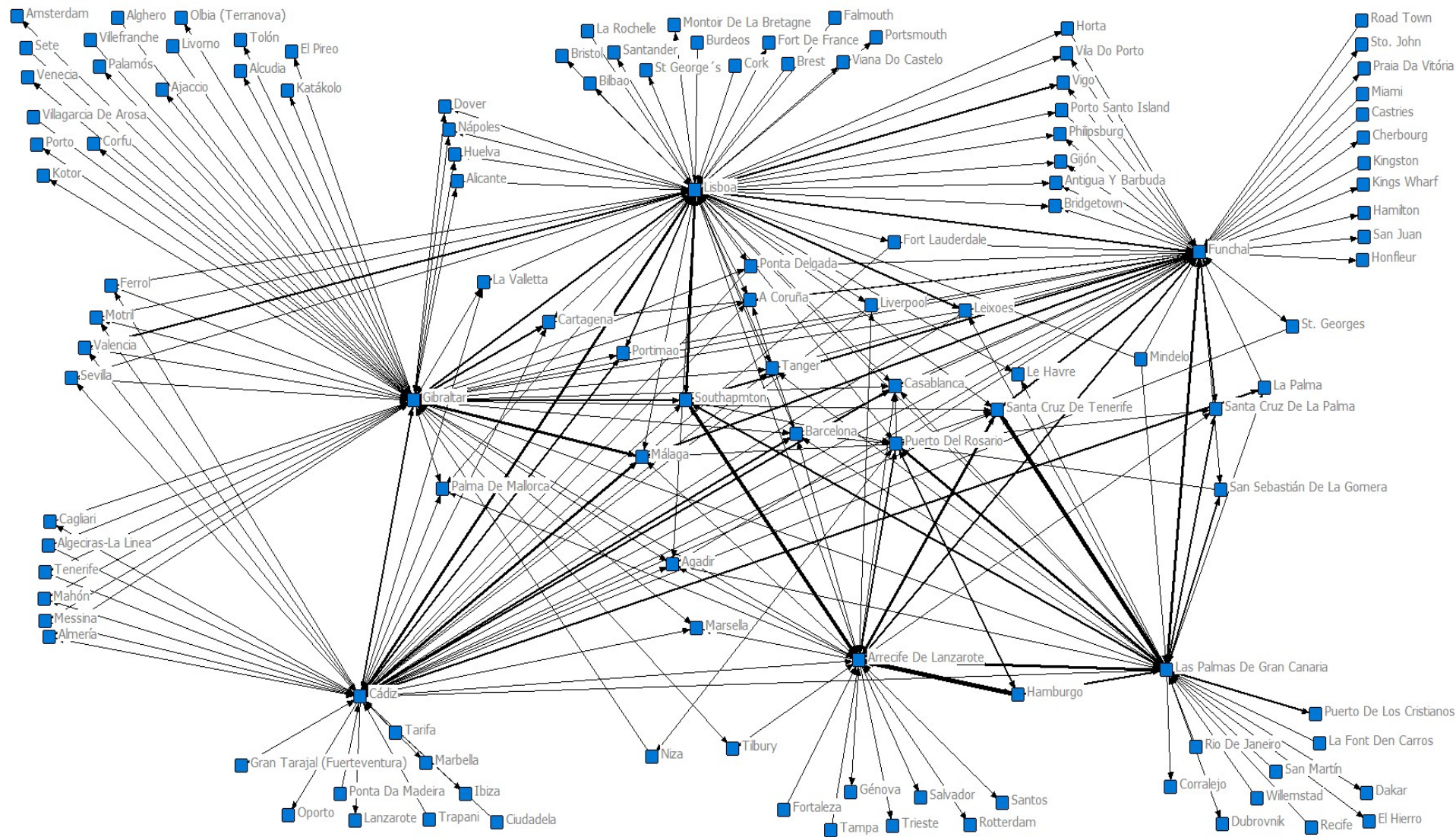
Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.16. Grafo del tráfico de cruceros en el Océano Atlántico para el año 2015



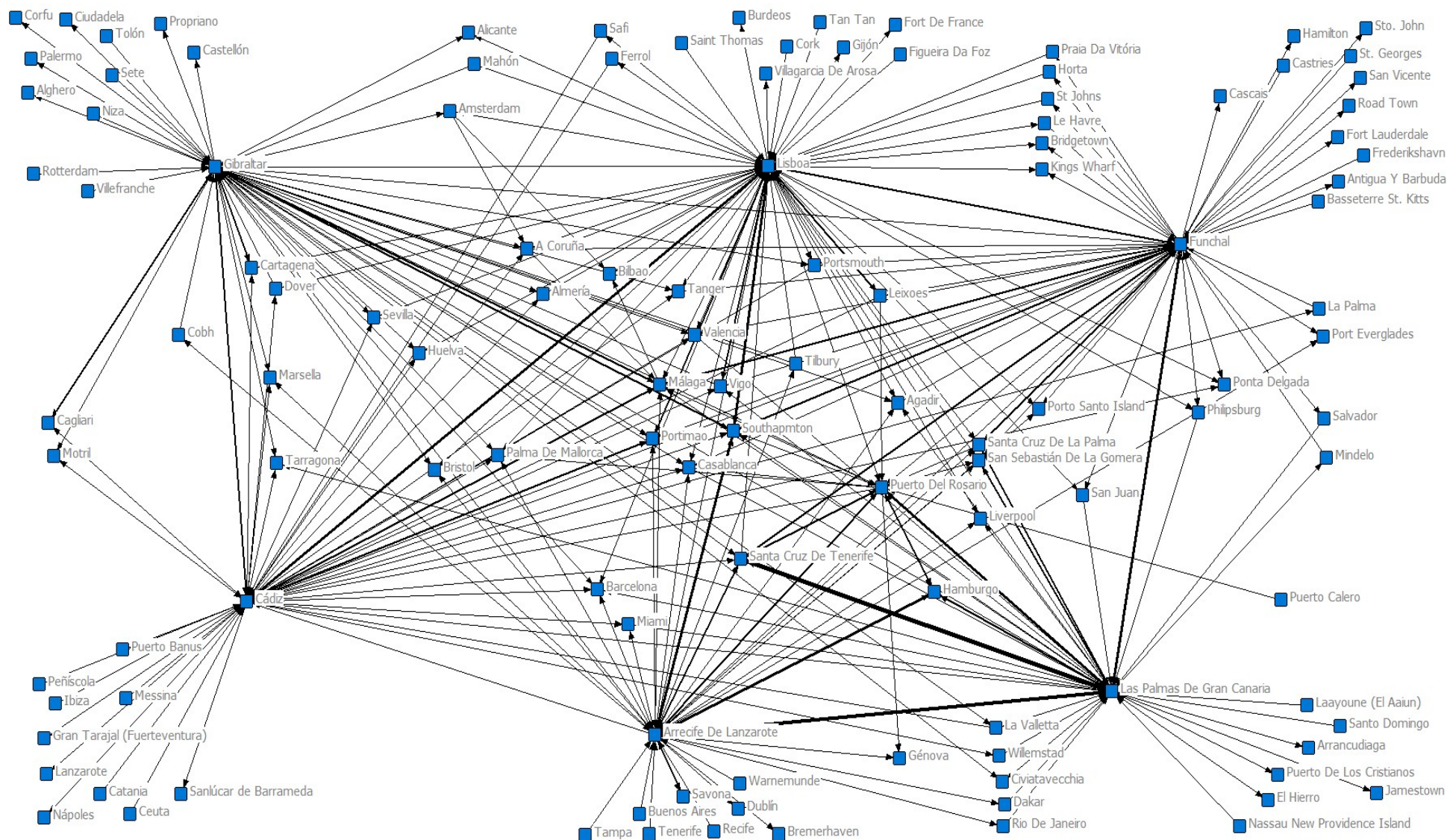
Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.17. Grafo del tráfico de cruceros en el Océano Atlántico para el año 2016



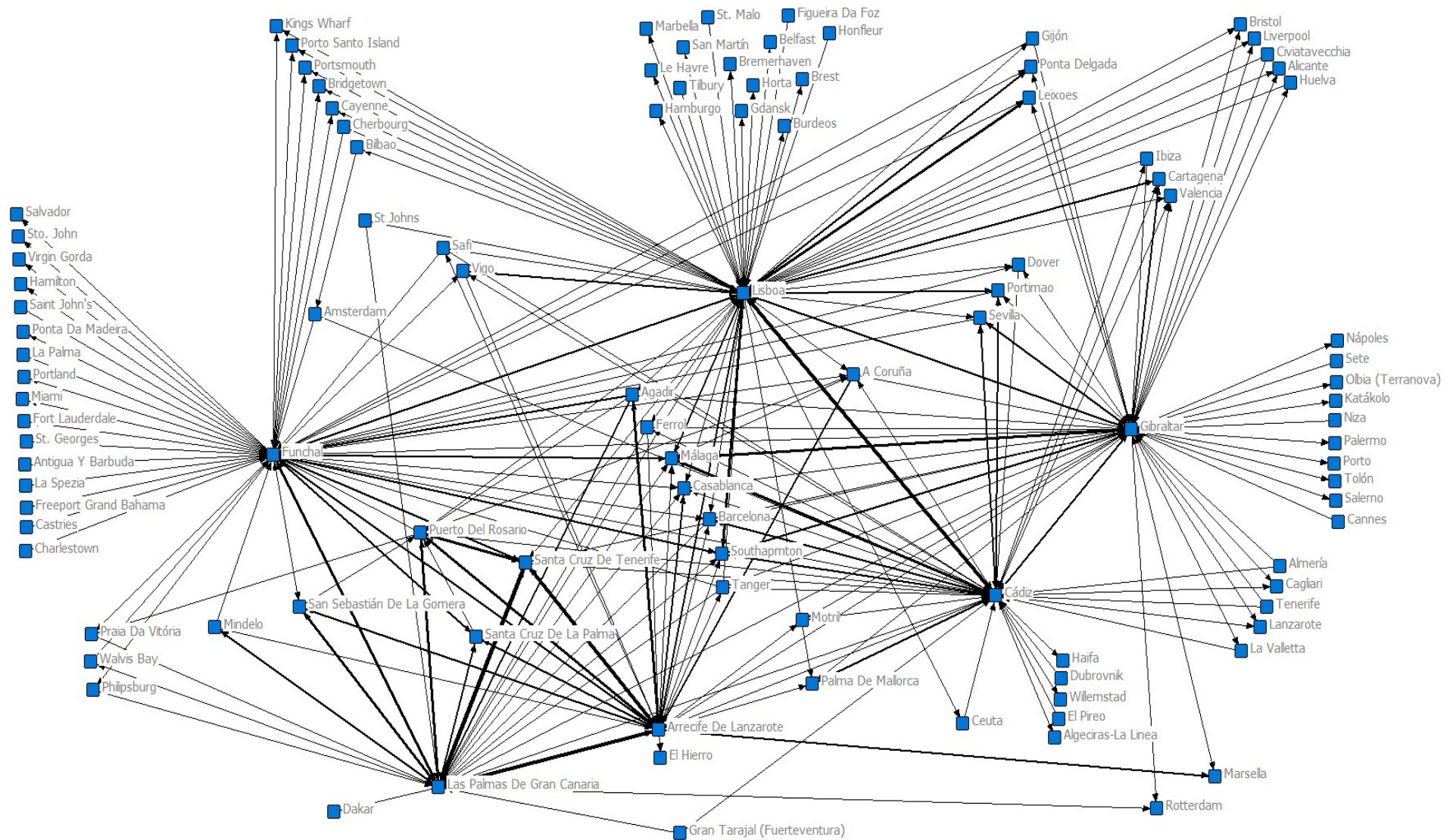
Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.18. Grafo del tráfico de cruceros en el Océano Atlántico para el año 2017



Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.19. Grafo del tráfico de cruceros en el Océano Atlántico para el año 2018



Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.20. Grafo del tráfico de cruceros en el Océano Atlántico para el año 2019

El Mediterráneo Oriental. El Mediterráneo Oriental ha sido analizado utilizando los datos de los siguientes puertos: Bari, Corfú, Dubrovnik, Katákolos, Miconos y Santorini. El Mediterráneo Oriental ha disminuido su número de nodos y conexiones de 134 a 127 y de 386 a 377 en 2015 y 2019, respectivamente (Tabla 5.9). El acceso a los datos de algunos puertos griegos ha sido complejo. Por ejemplo, no ha sido posible acceder a los datos del puerto de Miconos de los años 2016 y 2017, lo cual afecta especialmente a todas las métricas de los dos años debido al intenso tráfico que tiene este puerto. Por otra parte, el grado de centralización del Mediterráneo Oriental ha tenido una tendencia negativa en estos años. Esto puede deberse a que las métricas a nivel de nodo de los puertos más importantes también han disminuido estos años, lo que ha resultado en que los puertos de esta zona pierdan importancia, y en consecuencia disminuya su grado de centralidad. Finalmente, la densidad sí que ha variado en el tiempo de estudio, aunque no de manera substancial.

Tabla 5.9. Medidas globales de la red interportuaria del tráfico de cruceros en el Mediterráneo Oriental.

Año	Número de nodos	Número de conexiones	Densidad	Grado de centralización
2015	134	386	0,022	0,474
2016	126	336	0,021	0,451
2017	126	302	0,019	0,451
2018	122	368	0,025	0,428
2019	127	377	0,024	0,394

El número de nodos que tiene esta red de tráfico es superior al del resto de zonas geográficas, sin embargo, la mayor parte de puertos que se muestran en los grafos pertenecen al Mediterráneo Oriental. Esto refleja la limitación que poseen los puertos de esta zona, pues conectar con sus equivalentes exteriores en el Mediterráneo Occidental requeriría un mayor tiempo de navegación, lo que sería difícilmente compatible con los ajustados itinerarios de muchas de las navieras. Todo lo anterior convierte al Mediterráneo Oriental en una zona de destino para itinerarios regulares.

Las métricas locales determinan los puertos más importantes según el parámetro que se esté tratando:

- Flujo recibido e iniciado: los puertos con mayores flujos de cruceros son Dubrovnik, Miconos, Corfú, Santorini y El Pireo (Tablas 5.1 y 5.2).
- Grado de centralización entrante y saliente: las ciudades portuarias más significativas según estos parámetros son Dubrovnik, Corfú, Miconos, Katákolos y Santorini (Tablas 5.3 y 5.4).
- Grado de intermediación: los puertos principales conforme este parámetro son Dubrovnik, Miconos, Corfú, Santorini y Katákolos (Tabla 5.5).
- Índice *hub*: según esta medida local los puertos más notables son Dubrovnik, Miconos, Santorini, Corfú y El Pireo (Tabla 5.6).

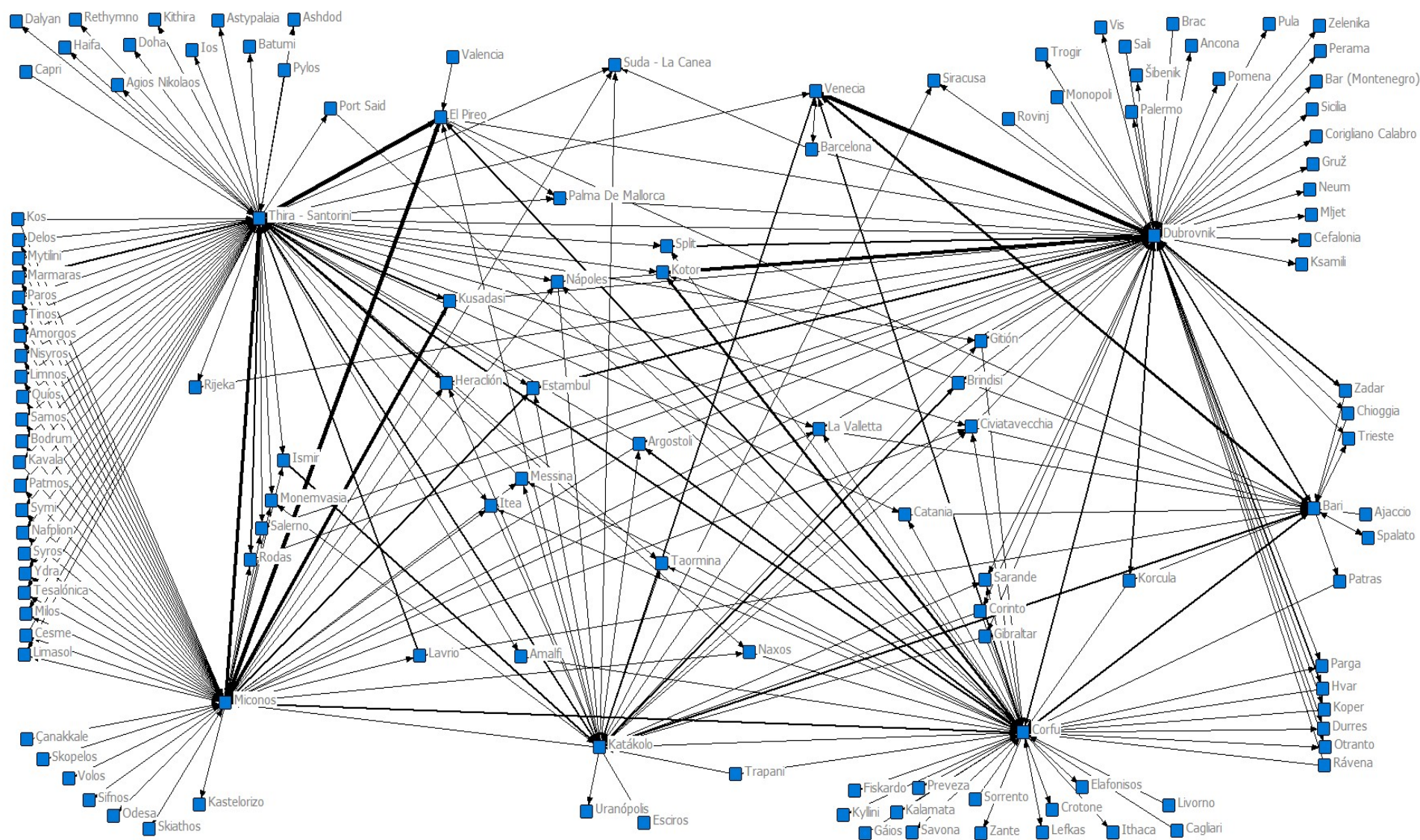
Corfú, Dubrovnik y Kotor son tres de los puertos más importantes en el Mediterráneo Oriental, concretamente del Mar Adriático. De hecho, Corfú, Dubrovnik y Kotor fueron el primer, quinto y decimosexto puerto con mayor flujo iniciado, y el segundo, quinto y decimoquinto puerto con mayor flujo recibido globalmente. La tendencia en volumen de tráfico de cruceros se muestra constante en el caso de Dubrovnik y Corfú, mientras que de Kotor puede decirse que es de carácter ascendente (Tablas 5.1 y 5.2). Estos puertos son relevantes no sólo por sus conexiones, como muestran los

grafos, sino también por su posición geográfica. Los tres puertos están situados hacia la parte sur del mar Adriático, permitiendo atracar a los cruceros que tienen origen y/o destino en Venecia, uno de los puertos más importantes de Europa. Esto también explica sus altos grados de intermediación (Tabla 5.5). Los resultados obtenidos para Kotor tienen su origen en las relaciones que se obtienen de los puertos para lo que sí se tenían datos. Es por esto que Kotor en este estudio tiene una menor importancia que otros puertos con un volumen de tráfico de cruceros menor.

Mykonos y Santorini son dos de los puertos de cruceros más importantes del mar Egeo. A pesar del intenso tráfico y su alto HACC, no pueden ser considerados como puertos *hubs* por varias razones. La primera es su conexión con El Pireo, el cual es puerto *hub*. El Pireo junto con Venecia son los dos puertos más importantes del Mediterráneo Oriental. Además, el puerto griego ofrece mejores instalaciones portuarias y conexión con otros medios de transporte que Mykonos y Santorini. De hecho, el puerto de Santorini no tiene una terminal donde los cruceros puedan atracar, y los pasajeros deben desembarcar en pequeños botes. El atractivo de sendos puertos isleños reside en su riqueza cultural y arqueológica.

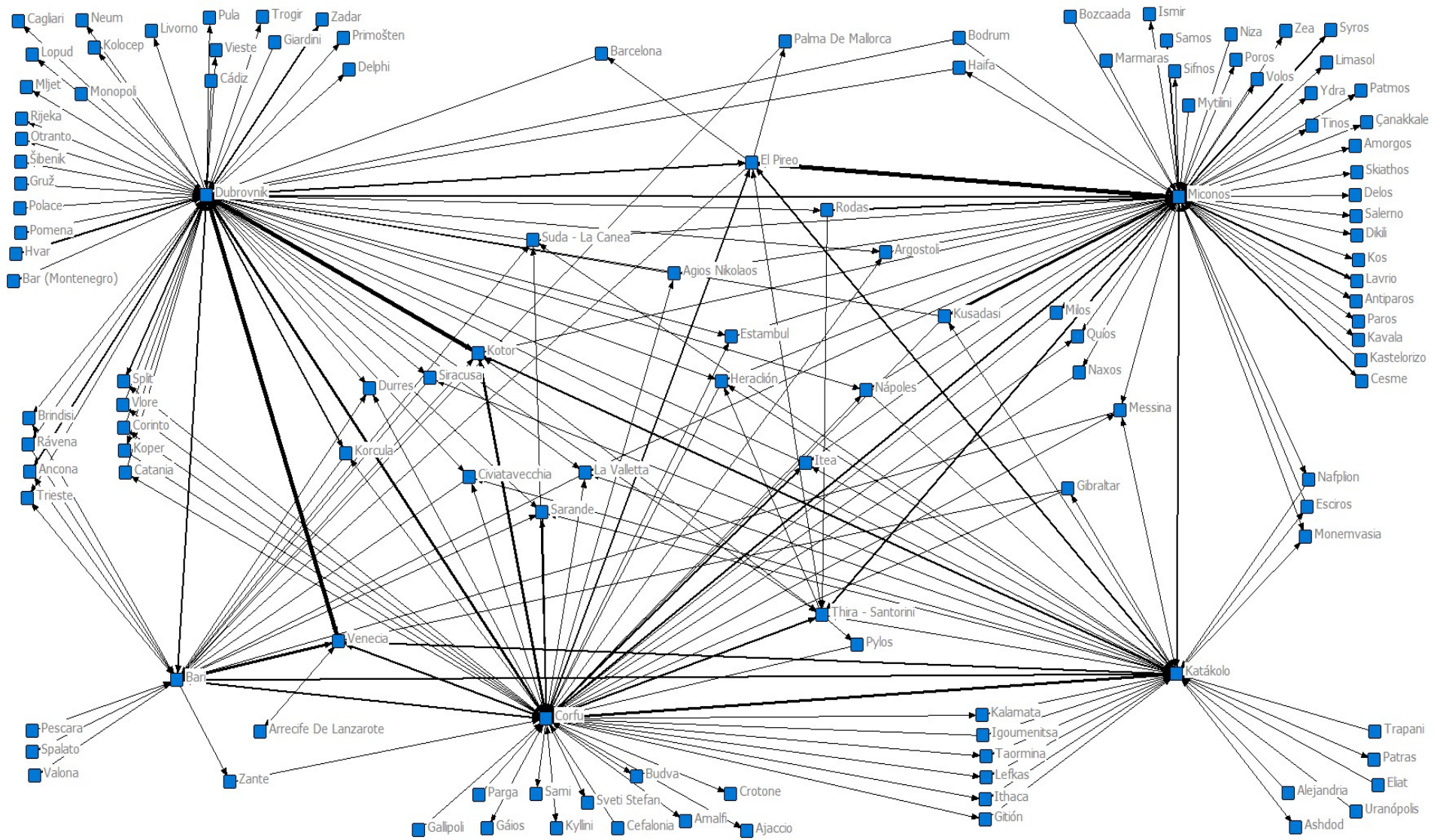
En este estudio El Pireo está posicionado como uno de los puertos más importantes de Europa, por encima de Venecia, debido a su fuerte conexión con Mykonos y Santorini (dos de los puertos con mayor número de datos) y la imposibilidad de haber analizado el puerto de Venecia con sus propios datos. De hecho, estos tres puertos forman un triángulo, cuyas interrelaciones destacan notablemente en los flujos de navegación, especialmente en los años 2015, 2018 y 2019 (figuras 5.21, 5.24 y 5.21), debido a que los dos años restantes no se tienen los datos de Santorini. Adicionalmente, El Pireo también se encuentra conectado con otros puertos relevantes del Mediterráneo Occidental, especialmente en la fase inicial del estudio, pues en 2015 conectaba con Valencia, en 2016 con Barcelona y Palma, finalmente en 2017 se añadía Málaga a sus conexiones. No obstante, la tendencia de este puerto es la de aumentar las conexiones con puertos orientales, tal y como se puede ver en 2019.

Venecia es un puerto que a pesar de no mostrarse como importante en este estudio (por la falta de datos), lo cierto es que sí lo es. Al igual que en el caso anterior, este puerto figura entre los principales, incluso sin tener sus datos, lo que da una idea de su importancia. En términos de volumen del tráfico de cruceros, este puerto muestra una tendencia descendente tanto en el flujo entrante como en saliente. Esto puede deberse a que para los últimos dos años de estudio Venecia no conecta con ningún puerto externo al Mediterráneo Oriental, cosa que sí ocurría en años posteriores (2015 con Barcelona o 2016 con Arrecife). En términos de grado de intermediación, y de índice HACC, Venecia es un puerto de menor importancia debido a su localización en el interior del mar Adriático, lo que supone una barrera a la conexión con puertos alejados por el mayor tiempo de navegación.



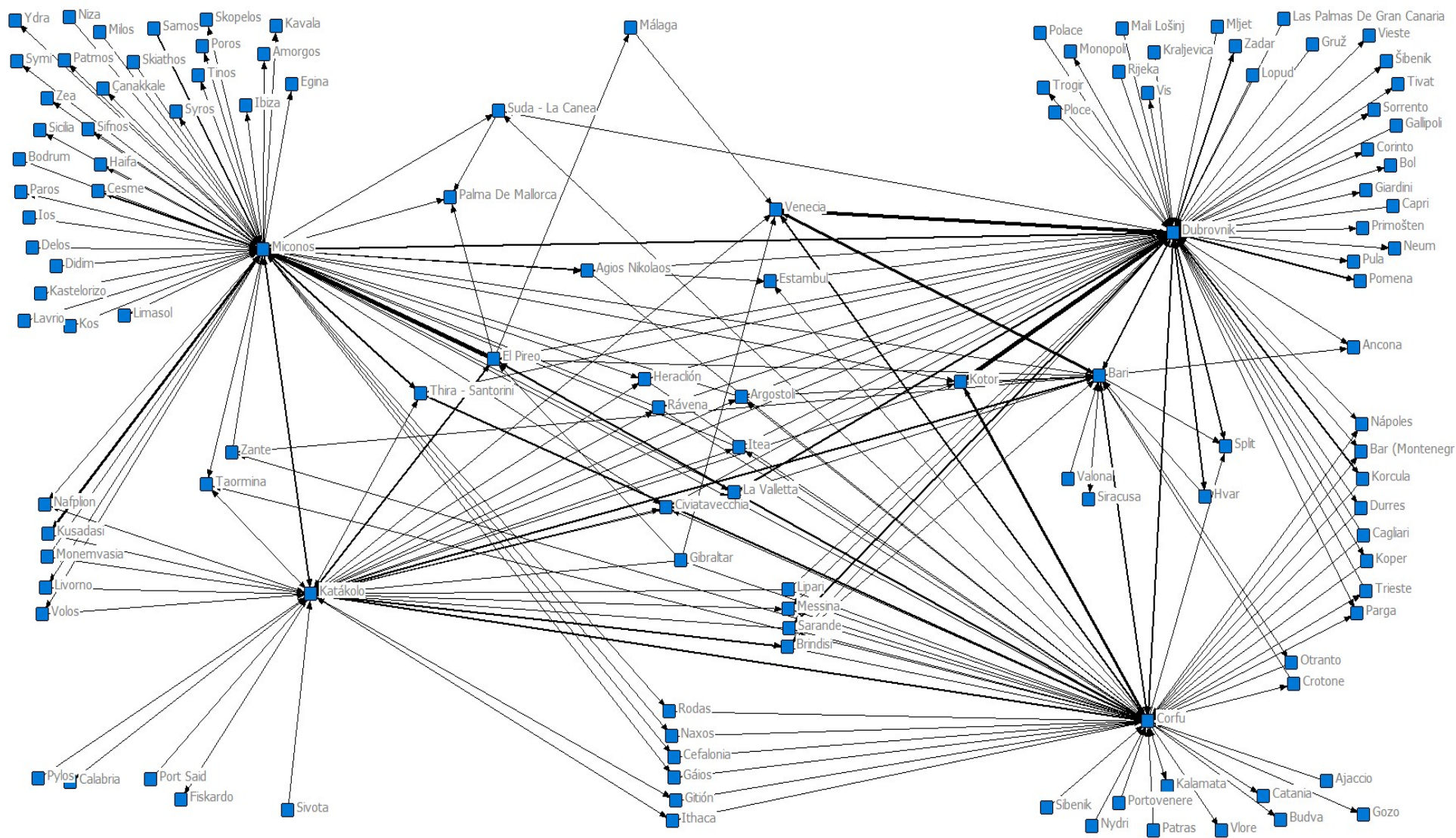
Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.21. Grafo del tráfico de cruceros en el Mediterráneo Oriental para el año 2015



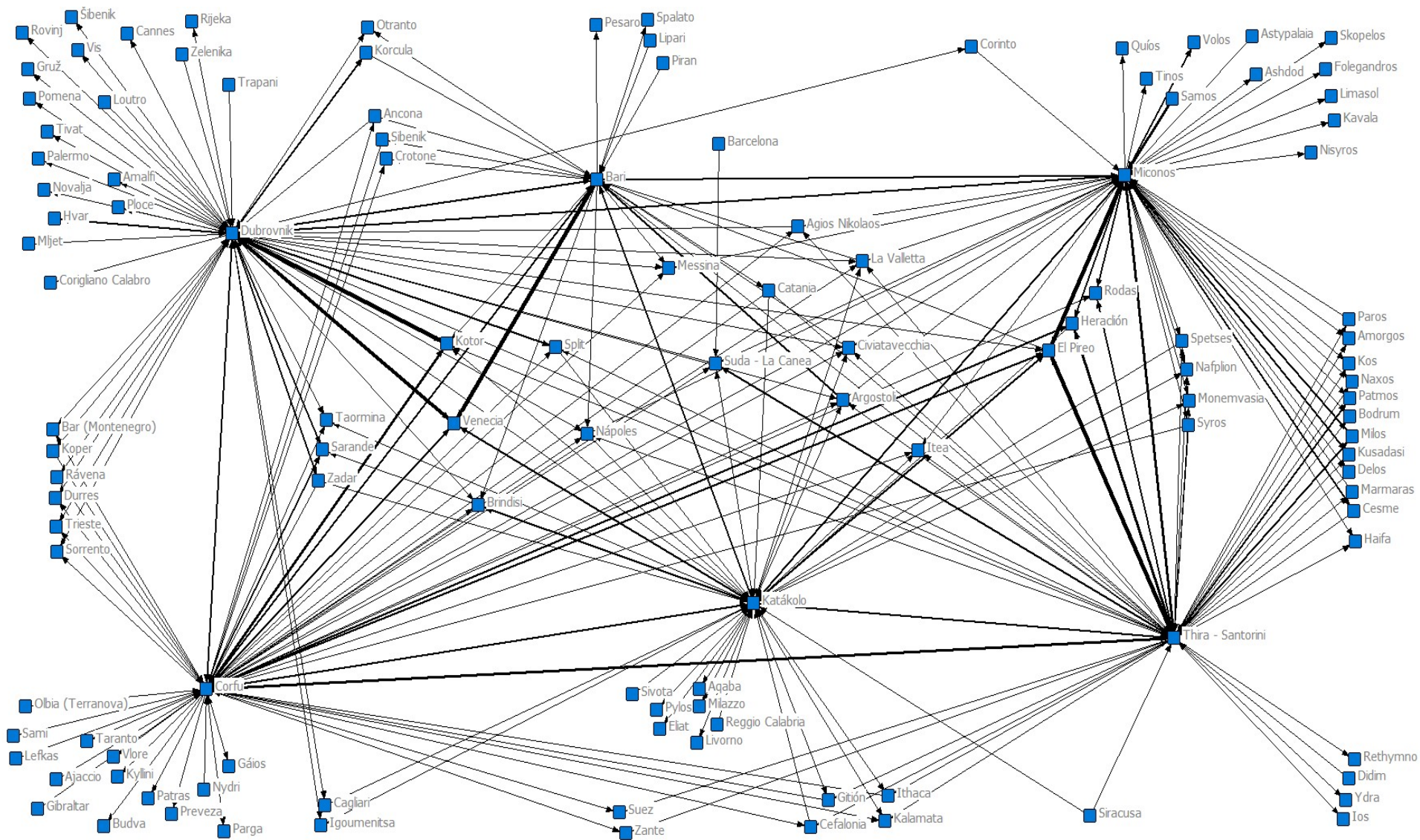
Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.22. Grafo del tráfico de cruceros en el Mediterráneo Oriental para el año 2016



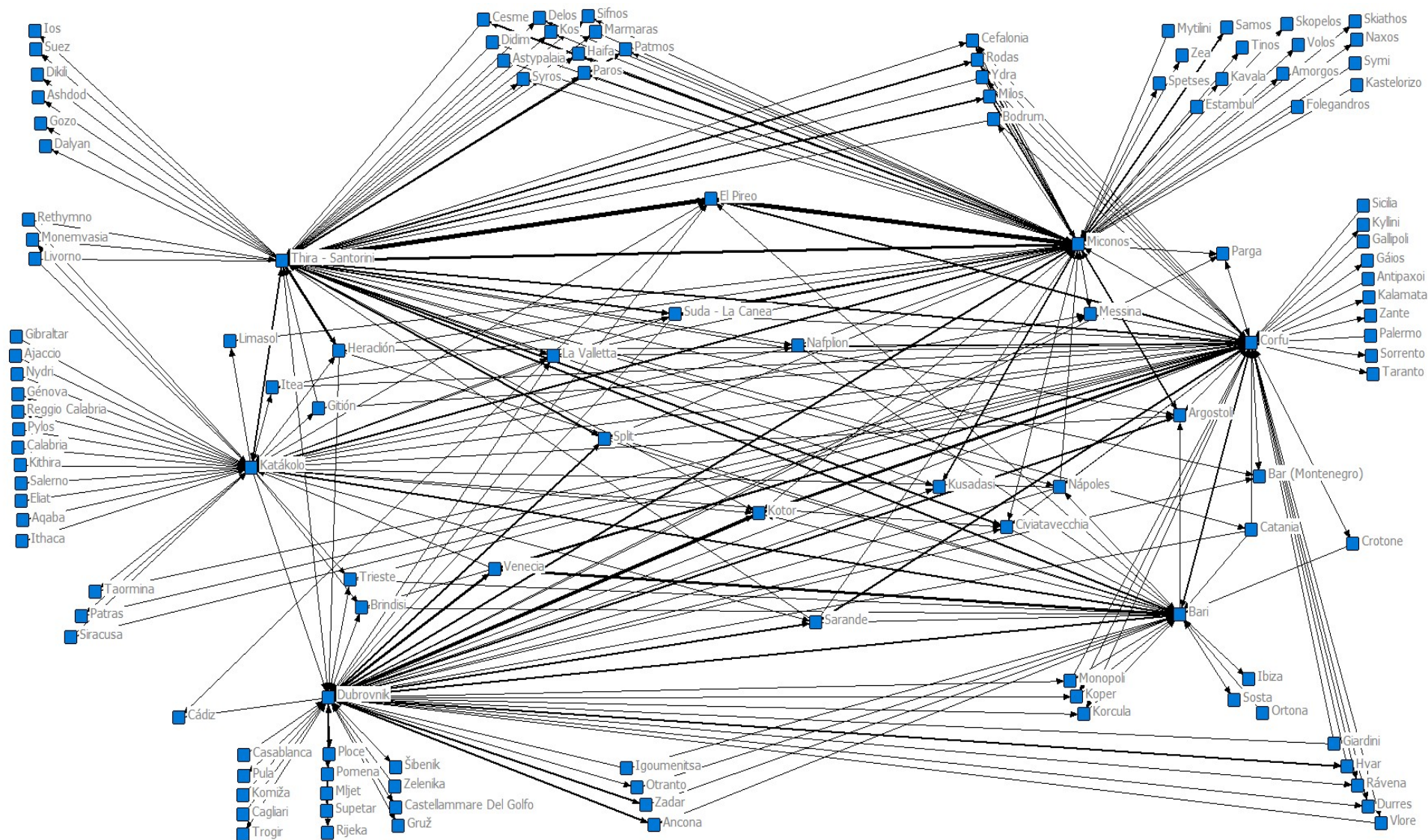
Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.23. Grafo del tráfico de cruceros en el Mediterráneo Oriental para el año 2017



Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.24. Grafo del tráfico de cruceros en el Mediterráneo Oriental para el año 2018



Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.25. Grafo del tráfico de cruceros en el Mediterráneo Oriental para el año 2019

El Mediterráneo Occidental. Los puertos del Mediterráneo Occidental analizados han sido Barcelona, Gibraltar, Ibiza, Livorno, Mahón, Málaga, Valencia y Palma. El número de nodos apenas ha variado en el tiempo de estudio. No obstante, el número de conexiones sí lo ha hecho con tendencia positiva hasta el año 2018. Estos cambios han tenido repercusión en el grado de centralización, pues este parámetro ha disminuido a medida que el número de conexiones ha aumentado. Ambos parámetros no tienen por qué guardar relación entre sí, no obstante si esta dependencia existe puede indicar alguna tendencia. En este caso es posible que la centralidad disminuya con el aumento de conexiones porque los puertos centrales de la red se encuentren saturados, de forma que este incremento de conexiones se produzca en puertos secundarios. La intensificación en el tráfico de estos puertos menos relevantes hace que la posición central que ocupan los más importantes se vea reducida. Por último, la densidad apenas ha variado a pesar de las fluctuaciones dadas en el número de nodos y conexiones.

Tabla 5.10. Medidas globales de la red interportuaria del tráfico de cruceros en el Mediterráneo Occidental.

Año	Número de nodos	Número de conexiones	Densidad	Grado de centralización
2015	111	403	0,033	0,509
2016	110	458	0,038	0,473
2017	115	470	0,036	0,432
2018	119	495	0,035	0,377
2019	113	450	0,036	0,441

La mayoría de conexiones se dan entre puertos del Mediterráneo Occidental, aunque también existen conexiones con puertos del océano Atlántico y el Norte de Europa. Este resultado indica la permeabilidad que tiene el Mediterráneo Occidental y, por tanto, las interconexiones tanto a nivel interno como externo con otras regiones. Esto último confiere al Mediterráneo Occidental aun mayor importancia a nivel global respecto a las características del tráfico de cruceros que registra. Debe mencionarse el hecho de que existen puertos pertenecientes a este área geográfica con un notable tráfico de cruceros para los cuales no se han podido analizar sus datos, los resultados de estos puertos son los que se derivan de aquellos para los cuales sí se disponía del histórico de escalas de cruceros. Esto explica que puertos como Civitavecchia tengan una menor importancia que otros menos relevantes como Málaga en algunos parámetros locales.

Las métricas locales estiman los puertos más relevantes según el parámetro que se esté analizando:

- Flujo recibido e iniciado: los puertos con mayor volumen de tráfico de cruceros (incluye ambos sentidos) son Barcelona, Palma, Livorno, Valencia y Málaga (Tablas 5.1 y 5.2).
- Grado de centralización entrante y saliente: los puertos más relevantes según este parámetro son Barcelona, Palma, Málaga, Gibraltar y Livorno (Tablas 5.3 y 5.4).
- Grado de intermediación: los puertos del Mediterráneo Occidental con mayor grado de centralización son Barcelona, Gibraltar, Palma, Livorno y Málaga (Tabla 5.5).
- Índice *hub*: los puertos más significativos según el HACC, es decir, los puertos más importantes según la relevancia de sus conexiones son Barcelona, Palma, Valencia, Livorno y Málaga (Tabla 5.6).

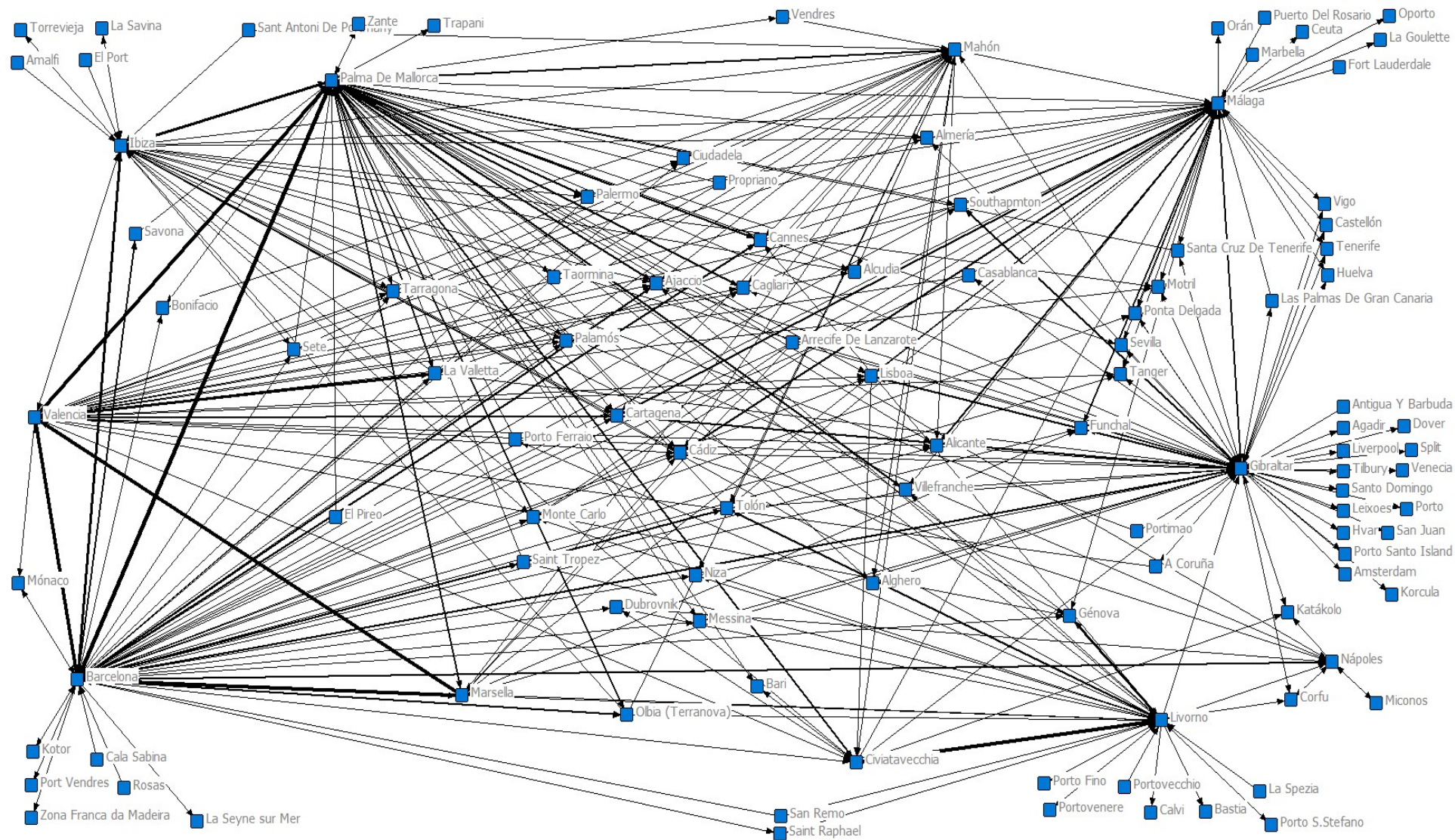
Barcelona conecta con puertos importantes del Mediterráneo Occidental y de otras zonas como Venecia y Dubrovnik (Figura 5.26). Esto se puede observar en las primeras fases del estudio, posteriormente seguiría conectando con puertos exteriores, pero de menor relevancia como Haifa (Figura 5.27). El puerto de Barcelona se ha consolidado como puerto *hub* debido a las múltiples terminales que permiten atracar varios cruceros simultáneamente, así como sus instalaciones portuarias y su conectividad con otros medios de transporte como el avión, lo que explica sus buenos resultados en los parámetros locales.

Las Islas Baleares es otra de las zonas más relevantes en lo que a tráfico de cruceros se refiere. Este archipiélago incluye importantes puertos como son Ibiza, Mahón y Palma de Mallorca. Los puertos baleares tienen una gran relevancia en el tráfico de cruceros del Mediterráneo Occidental por su posición entre España e Italia, (los dos países más importantes en el tráfico de cruceros en Europa) entre otras razones. La posición geográfica también permite conectarlos con puertos de la costa francesa lo que aumenta su influencia en el tráfico de esta zona. Todo lo anterior se ve reflejado en los siguientes grafos donde se puede ver la conexión de éstos con Barcelona, Málaga o Valencia (España), así como con Niza, Marsella o Ajaccio (Francia) y Cagliari, Génova o Palermo (Italia). El puerto de Palma es el más importante del archipiélago, de hecho podría ser considerado como *hub* debido a conexión con otros medios de transporte como el avión. Algunos de los puertos con los que conecta Palma no pertenecen al Mediterráneo Occidental, lo que refuerza aun más la importancia de éste. Lo que respecta al resto de puertos baleares se podría decir que quedan vinculados en sus itinerarios únicamente con puertos del Mediterráneo.

Civitavecchia y Marsella fueron el tercer y quinto puerto de cruceros más visitado en el Mediterráneo durante 2019 respectivamente [99]. Este trabajo refleja la importancia de ambos, pues a pesar de no haber podido analizarlos directamente con sus datos de escalas de cruceros obtienen un HACC lo suficientemente elevado como para ocupar una posición relevante entre los puertos del Mediterráneo. Concretamente, el valor de HACC que se obtiene es el derivado de las relaciones con los restantes puertos. En este caso, Marsella obtiene un mayor número de conexiones que Civitavecchia, esto se debe, fundamentalmente, a las conexiones con Barcelona, Livorno, Valencia y los puertos de Baleares. Adicionalmente, en los grafos se puede apreciar la importancia del puerto italiano pues conecta con puertos importantes como Dubrovnik y Bari a pesar de no estar en esa región. Además, esta tendencia de conectar con puertos orientales se va acentuando en el tiempo, llegando a conectar con múltiples puertos de esta región. Destacar también que Nápoles comparte esta tendencia con Civitavecchia, especialmente en los últimos años de estudio (Figuras 5.29 y 5.30).

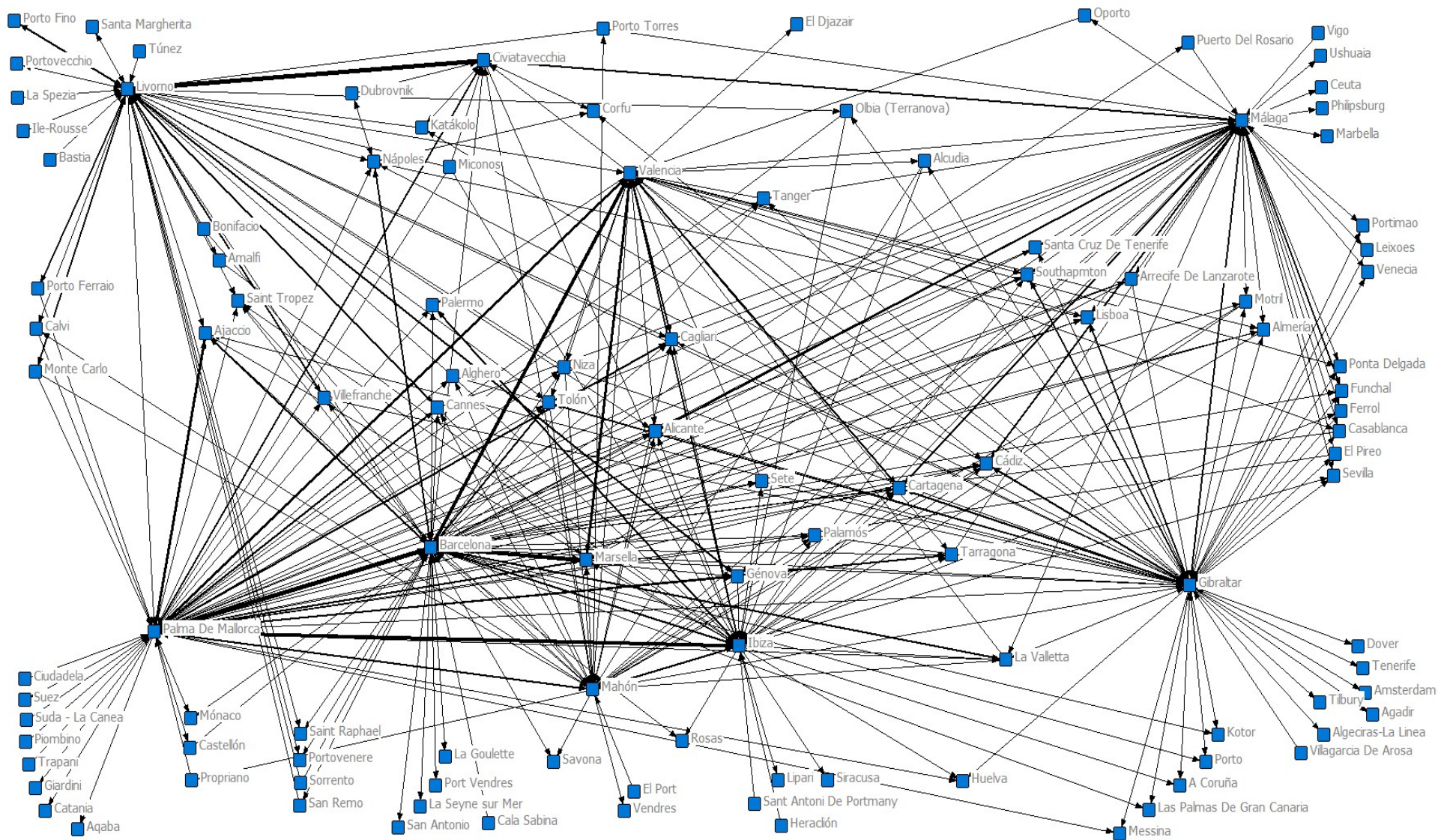
El puerto de Gibraltar se revela en esta región también como importante. A pesar de no tener un HACC elevado, este puerto tiene el segundo grado de intermediación más elevado de la red del Mediterráneo Occidental. Gibraltar actúa como conexión entre dos zonas, el Mediterráneo Occidental y el océano Atlántico. Gibraltar conecta con 27 puertos mediterráneos y 21 atlánticos, lo que demuestra claramente su papel de puerto de intermediación entre estas dos regiones. A pesar de esto, las conexiones entre Gibraltar y los otros puertos son poco intensas, pues constan de unos pocos cruceros por trayecto lo que en una disminución del HACC (ya que este parámetro depende también del flujo de cruceros que tiene el puerto).

Por último, destacar la fuerte conexión que existe entre los puertos de Palma, Barcelona, Valencia y Marsella por uno lado, y por otro Livorno con Civitavecchia. Esto se puede apreciar claramente en los grafos debido a que el grosor de las líneas que los conectan destaca sobre el resto de conexiones.



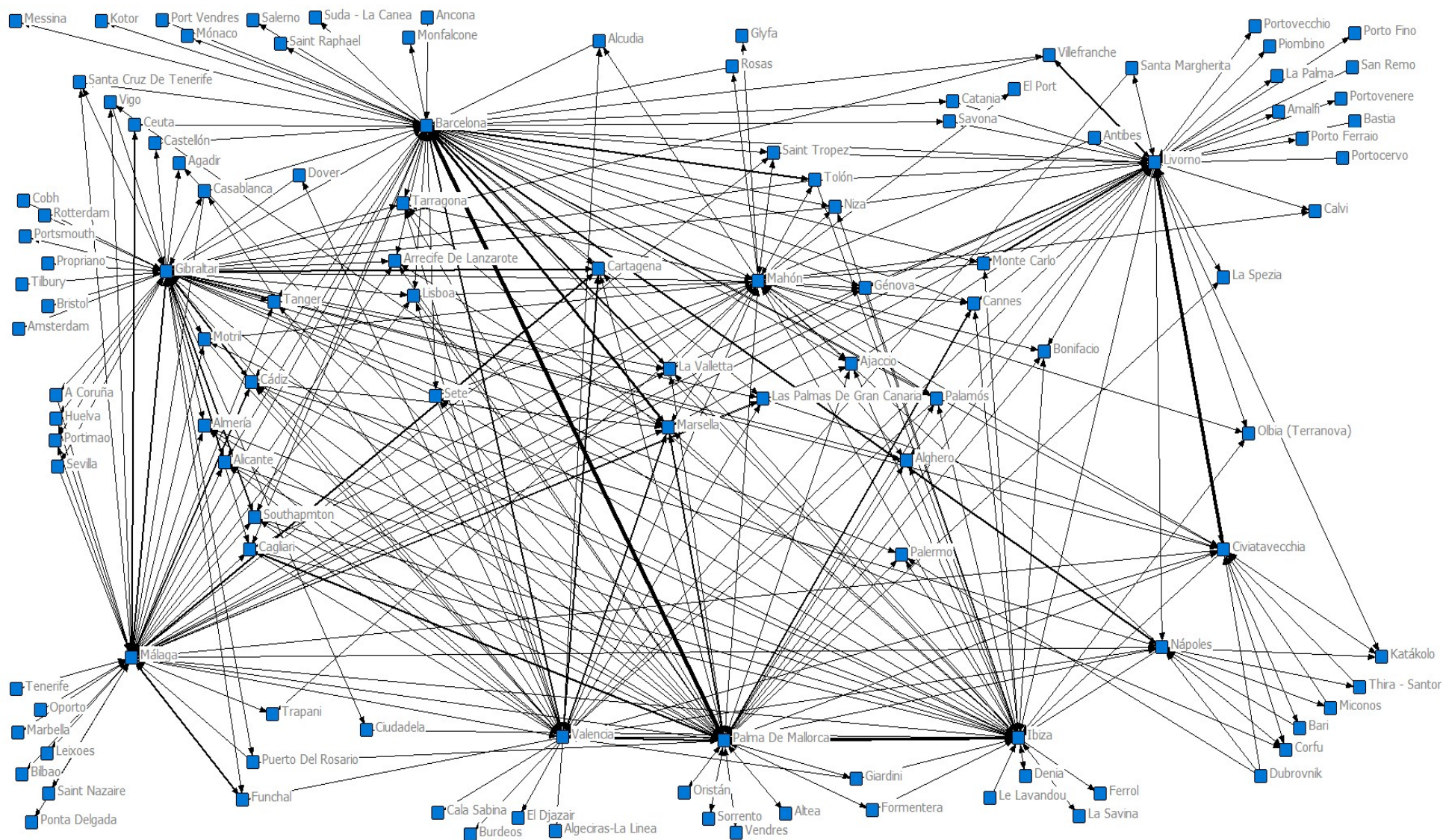
Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.27. Grafo del tráfico de cruceros en el Mediterráneo Occidental para el año 2016



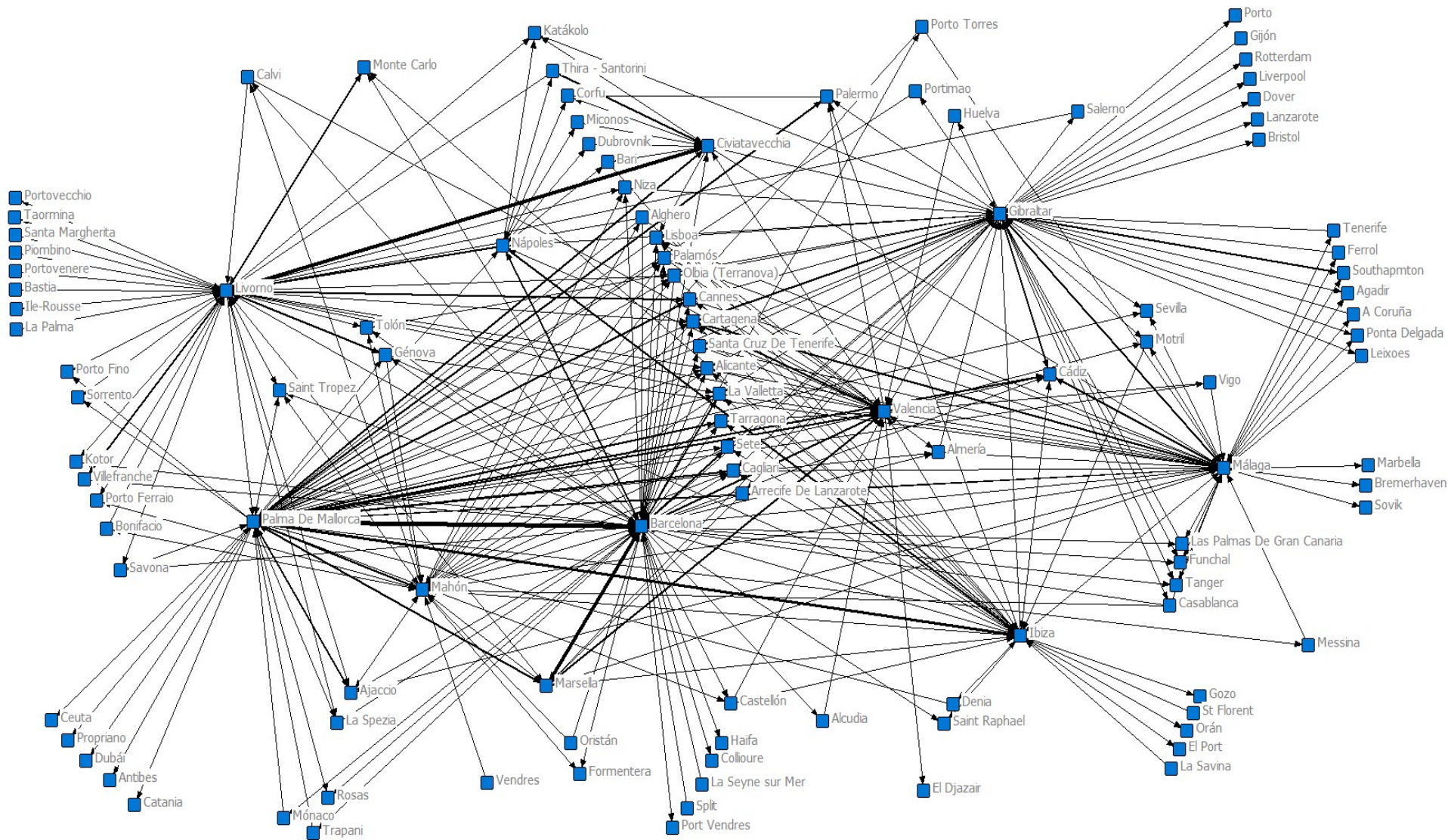
Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.28. Grafo del tráfico de cruceros en el Mediterráneo Occidental para el año 2017



Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.29. Grafo del tráfico de cruceros en el Mediterráneo Occidental para el año 2018



Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.30. Grafo del tráfico de cruceros en el Mediterráneo Occidental para el año 2019

Una vez se han discutido los resultados globales y locales conseguidos en este estudio y su representación gráfica se va a proceder analizar esta misma información pero segregada en segmentos. Esta división hace fácil la interpretación los resultados y grafos debido al menor número de escalas, conexiones y puertos.

5.1.2. Segmento *Budget*.

Resultados globales

El segmento *budget* se dedica a ofertar cruceros a precios muy competitivos, tal y como se ha descrito en el capítulo 1. Este segmento es casi exclusivo del Mediterráneo, pues no suelen operar fuera de esta zona. La densidad que tiene este segmento del mercado de cruceros ha oscilado durante el tiempo de estudio, aunque siempre sobre un valor aproximado de 0,018 (Figura 5.31b). El incremento de la densidad de los años 2016 y 2018 se debe a la ligera disminución de nodos del primer año, y a la súbita crecida en el número de conexiones en 2018. El segmento de cruceros *budget*, puede decirse que está creciendo en Europa, pues tanto el número de conexiones como de nodos tienen una tendencia ascendente (Figura 5.31a).

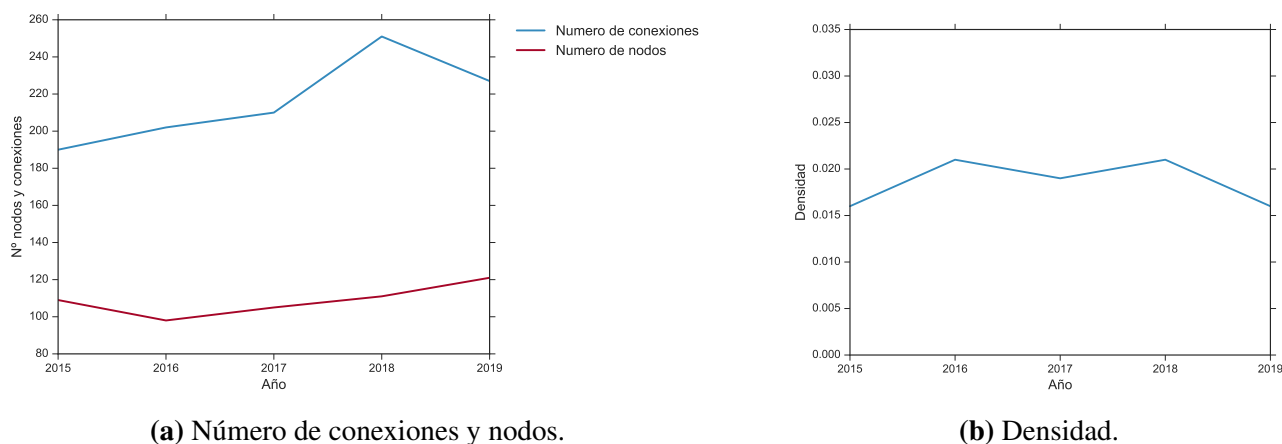


Figura 5.31. Métricas globales del mercado de cruceros europeo del segmento *Budget*.

El grado de centralización también ha fluctuado en el tiempo de estudio considerablemente. Durante los años 2016 y 2017 este parámetro disminuyó de manera considerable, lo cual puede deberse a la falta de datos que se tienen del puerto de Santorini durante estos años que es uno de los puertos más importantes de este segmento (Figura 5.32). Los puertos del Mediterráneo Oriental son los principales de este segmento, por lo que la falta de datos en un sólo puerto tal vez afecte sobremedida a los parámetros globales. No obstante, esto se confirmará con las métricas locales.

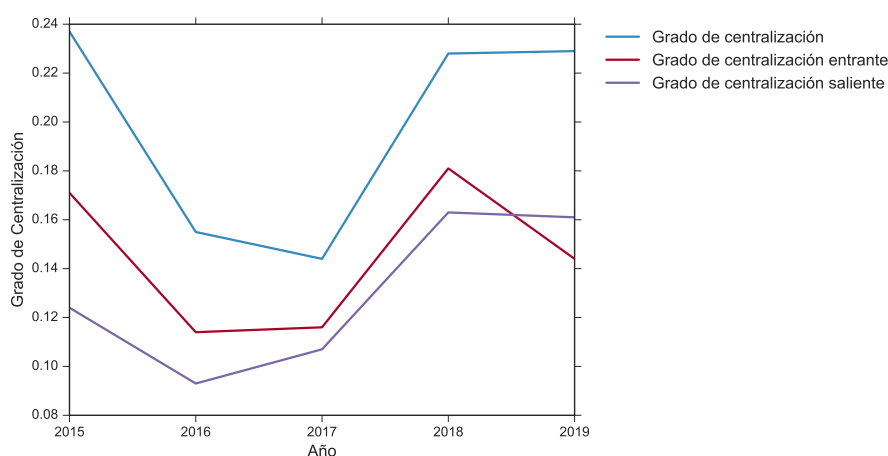


Figura 5.32. Grado de centralización global, saliente y entrante para el segmento *Budget*.

Resultados locales

Cualquier segmento estudiado de forma individual representa una fracción pequeña del tráfico de cruceros si se compara con el mercado europeo global, por tanto no es necesario un análisis tan profundo como se ha hecho para todo el mercado en conjunto. Debido a esto, tan sólo se van a mostrar los cinco primeros puertos en el gráfico y los quince más relevantes en las tablas.

Flujo recibido e iniciado. La figura 5.33 muestra los cinco primeros puertos con mayor flujo iniciado del mercado europeo de cruceros en el segmento *Budget*, mientras que la 5.34 muestra los puertos con mayores flujos recibido. El dominio del Mediterráneo Oriental es absoluto en términos de volumen en el tráfico de cruceros (recibido e iniciado) para este segmento, cuatro de los cinco primeros puertos pertenecen a esta zona. La tendencia es positiva en ambos casos, aunque la figura 5.34 lo muestra más claramente.

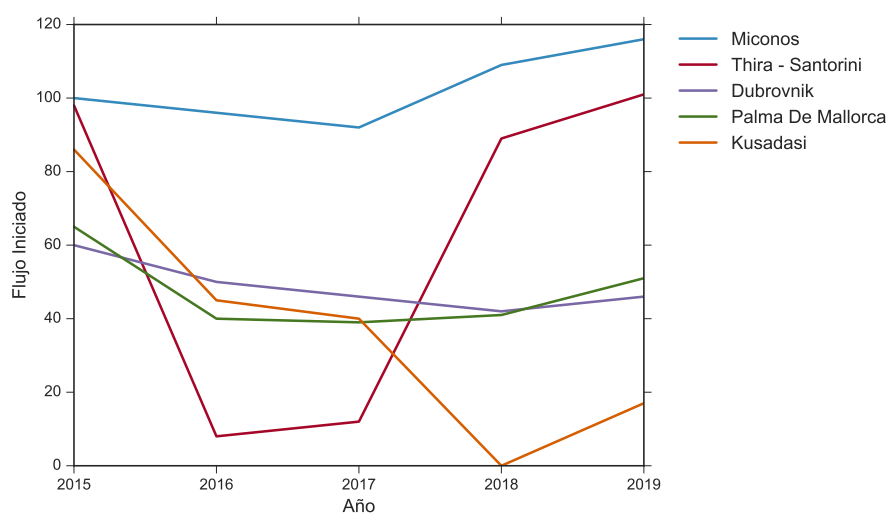


Figura 5.33. Flujo iniciado del mercado europeo de cruceros para los puertos más relevantes del segmento *Budget*.

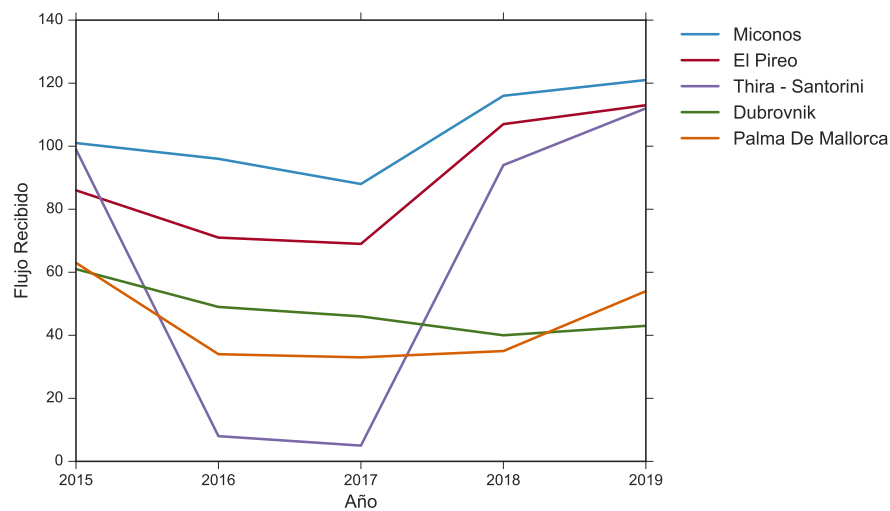


Figura 5.34. Flujo recibido del mercado europeo de cruceros para los puertos más relevantes del segmento *Budget*.

Tabla 5.11. Los 15 puertos con más tráfico iniciado y su evolución durante los años de estudio para el segmento *Budget*.

Puerto	2015	2016	2017	2018	2019
Miconos	100	96	92	109	116
Thira - Santorini	98	8	12	89	101
Dubrovnik	60	50	46	42	46
Palma De Mallorca	65	40	39	41	51
Kusadasi	86	45	40	0	17
Samos	0	35	24	65	55
Corfu	12	42	39	36	35
El Pireo	61	8	11	32	47
Málaga	8	44	40	40	19
Funchal	18	28	28	25	21
Barcelona	23	25	29	16	15
Cádiz	13	16	36	24	13
Kotor	14	24	21	26	15
Gibraltar	6	24	20	25	12
Lisboa	2	22	24	24	13

Tabla 5.12. Los 15 puertos con más tráfico recibido y su evolución durante los años de estudio para el segmento *Budget*.

Puerto	2015	2016	2017	2018	2019
Miconos	101	96	88	116	121
El Pireo	86	71	69	107	113
Thira - Santorini	99	8	5	94	112
Dubrovnik	61	49	46	40	43
Palma De Mallorca	63	34	33	35	54
Málaga	10	42	48	48	22
Corfu	13	42	37	32	33
Barcelona	30	24	35	21	23
Kotor	9	31	27	27	29
Heraclión	53	6	0	17	28
Funchal	16	22	23	23	18
Lisboa	3	21	28	26	17
Cádiz	13	13	27	25	14
Split	11	12	18	20	28
Gibraltar	4	23	21	20	13

Grado de centralización entrante y saliente. Las figuras 5.35 y 5.36 muestran los puertos con mayores grados de centralización entrante y saliente respectivamente. A diferencia del flujo, en este caso los puertos más relevantes son pertenecientes al Mediterráneo Occidental. Esto da una idea de la distribución en el tráfico de cruceros del segmento *Budget*: mientras que el Mediterráneo Oriental supone un área de destino, el Occidental tiene carácter de zona de paso y destino, tal y como ocurría a nivel global.

Las tendencias que muestra este parámetro son positivas para puertos como Palma, Miconos, Lisboa, Gibraltar y Cartagena. El caso de puertos como Santorini y Málaga también tienen cierta tendencia ascendente aunque en el año 2019 ha descendido ligeramente. Por el contrario, puertos como Corfu, Dubrovnik, Livorno e incluso Barcelona tienen cierta tendencia negativa, es decir cada año el número de puertos con los que se conectan es menor para trayectos del segmento *Budget*.

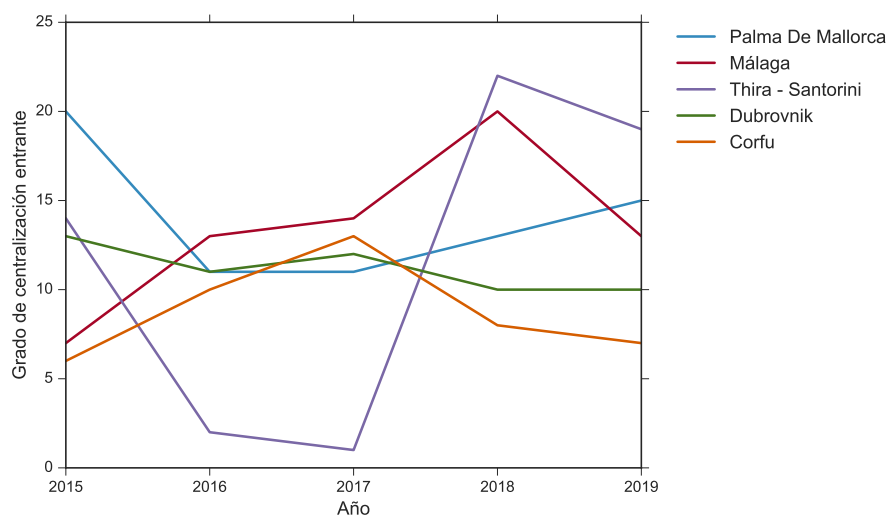


Figura 5.35. Grado de centralización entrante de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento *Budget*.

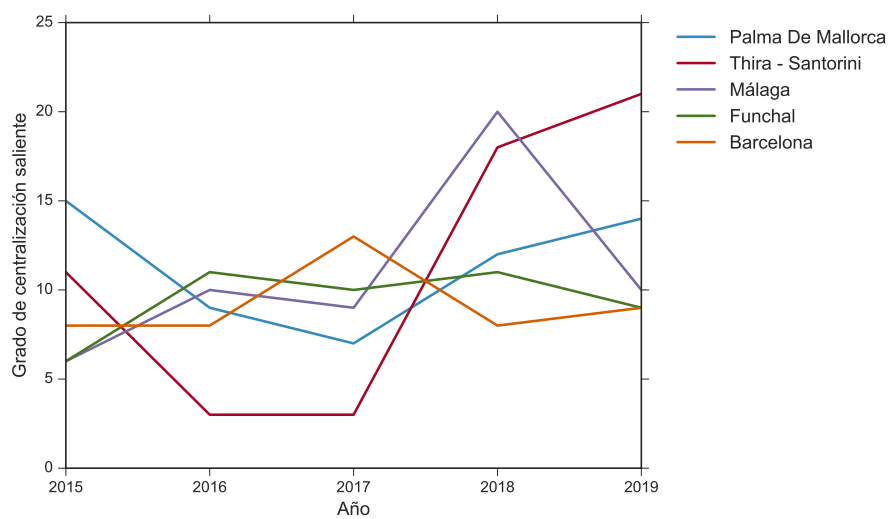


Figura 5.36. Grado de centralización saliente de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento *Budget*.

Tabla 5.13. Los 15 puertos con mayor grado de centralización entrante y su evolución durante los años de estudio para el segmento *Budget*.

Puerto	2015	2016	2017	2018	2019
Palma De Mallorca	20	11	11	13	15
Málaga	7	13	14	20	13
Thira - Santorini	14	2	1	22	19
Dubrovnik	13	11	12	10	10
Corfu	6	10	13	8	7
Miconos	7	7	8	8	10
Lisboa	3	8	10	8	11
Funchal	5	7	9	10	8
Barcelona	7	4	8	8	7
Cádiz	7	5	9	6	6
Gibraltar	4	6	5	5	9
Ibiza	3	7	5	5	4
Mahón	2	4	6	7	2
Livorno	5	2	4	4	4
Cartagena	3	3	3	4	6

Tabla 5.14. Los 15 puertos con mayor grado de centralización saliente y su evolución durante los años de estudio para el segmento *Budget*.

Puerto	2015	2016	2017	2018	2019
Palma De Mallorca	15	9	7	12	14
Thira - Santorini	11	3	3	18	21
Málaga	6	10	9	20	10
Funchal	6	11	10	11	9
Barcelona	8	8	13	8	9
Dubrovnik	10	10	8	9	8
Corfu	4	10	10	11	8
Cádiz	7	8	10	7	7
Miconos	9	8	9	7	5
Lisboa	2	5	9	7	9
Ibiza	3	5	6	7	5
Gibraltar	2	5	5	6	7
Livorno	7	2	4	5	4
Cartagena	2	4	5	5	5
Mahón	2	4	7	6	2

Grado de intermediación. El grado de intermediación es especialmente efectivo para descubrir qué puertos son puntos de conexión entre distintas zonas, aunque esto se debe contrastar con los grafos. La figura 5.37 muestra los puertos con mayor grado de intermediación del segmento *budget*. Las tendencias que se pueden observar son varias: las variaciones de Santorini son producidas por la falta de datos en los años 2016 y 2017, aunque puede decirse que tiene una ligera tendencia positiva, al igual que Palma. Dubrovnik, Málaga y Corfú están perdiendo grado de intermediación al igual que el resto de puertos excepto El Pireo, Gibraltar.

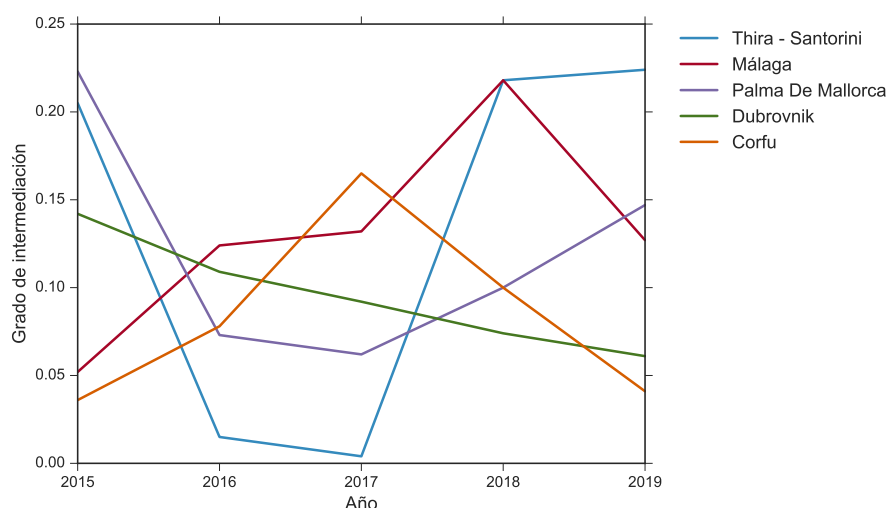


Figura 5.37. Grado de intermediación de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento *Budget*.

Tabla 5.15. Los 15 puertos con mayor grado de intermediación y su evolución durante los años de estudio para el segmento *Budget*.

Puerto	2015	2016	2017	2018	2019
Thira - Santorini	0,205	0,015	0,004	0,218	0,224
Málaga	0,052	0,124	0,132	0,218	0,127
Palma De Mallorca	0,223	0,073	0,062	0,100	0,147
Dubrovnik	0,142	0,109	0,092	0,074	0,061
Corfu	0,036	0,078	0,165	0,100	0,041
Cádiz	0,154	0,103	0,105	0,013	0,043
Miconos	0,153	0,022	0,076	0,029	0,027
Funchal	0,038	0,061	0,072	0,068	0,053
La Valletta	0,111	0,043	0,040	0,053	0,003
Barcelona	0,050	0,024	0,097	0,035	0,041
Lisboa	0,007	0,046	0,067	0,048	0,056
Livorno	0,039	0,006	0,062	0,032	0,049
El Pireo	0,025	0,011	0,095	0,000	0,000
Ibiza	0,014	0,028	0,065	0,002	0,014
Gibraltar	0,007	0,027	0,004	0,021	0,052

Índice Hub. El índice *hub* de los principales puertos con este parámetro se muestra en la figura 5.38. Este caso presenta unos resultados anómalos en el año 2016, ya que este año es el único para el cual se conocen los datos de algunos puertos Canarios como Las Palmas. El HACC es un parámetro que está normalizado, por eso el aumento repentino en el valor de un puerto afecta negativamente a los otros, ya que la suma de sus cuadrados tiene que valer 1. La tabla ?? muestra mejor el efecto de los puertos canarios ya que en ese año Las Palmas, Santa Cruz de Tenerife, Santa Cruz de la Palma y Arrecife de Lanzarote alcanzan su valor máximo. Destacar que esta subida repentina en el valor del índice *hub* afecta de forma positiva a puertos como Funchal que comparte un flujo de cruceros elevado con el archipiélago canario.

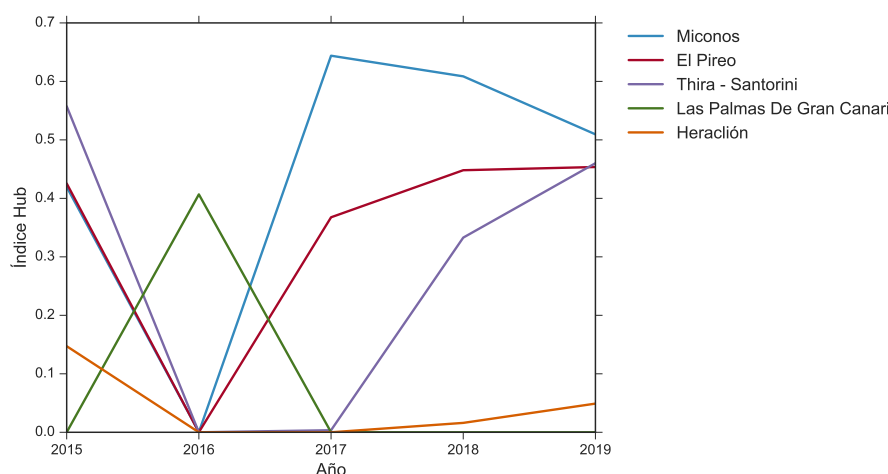


Figura 5.38. Índice *Hub* de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento *Budget*.

Tabla 5.16. Los 15 puertos con mayor índice *hub* y su evolución durante los años de estudio para el segmento *Budget*,

Puerto	2015	2016	2017	2018	2019
Miconos	0,41950	0,00033	0,64393	0,60864	0,50948
El Pireo	0,42547	0,00014	0,36764	0,44812	0,45361
Thira - Santorini	0,55746	0,00001	0,00354	0,33288	0,46011
Las Palmas De Gran Canari	0,00000	0,40682	0,00002	0,00000	0,00000
Heraclión	0,14720	0,00000	0,00000	0,01606	0,04903
Santa Cruz De Tenerife	0,00000	0,14204	0,00038	0,00000	0,00000
Dubrovnik	0,02037	0,00316	0,01062	0,00826	0,01684
Corfu	0,00027	0,00150	0,01318	0,01439	0,01540
Kusadasi	0,03757	0,00000	0,00000	0,00385	0,00000
Málaga	0,00000	0,01446	0,02582	0,00068	0,00005
Santa Cruz De La Palma	0,00000	0,04051	0,00017	0,00000	0,00000
Arrecife De Lanzarote	0,00000	0,02809	0,00078	0,00000	0,00000
Funchal	0,00000	0,02723	0,00119	0,00003	0,00000
Kotor	0,00062	0,00164	0,00671	0,01217	0,00694
Rodas	0,00018	0,00000	0,00288	0,01130	0,01331

Grafos

Las tendencias que se han deducido en el apartado anterior se van a ver confirmadas con la representación de los siguientes grafos. Este apartado, al igual que en el mercado global va a describirse de forma algo más individual el papel que tienen cada puerto en el mercado europeo de cruceros del segmento *Budget*.

Santorini, Miconos y El Pireo se han constituido como los tres puertos con mayor flujo de tráfico de cruceros en el segmento *Budget*. El Pireo sigue la tendencia que marcan los otros puertos griegos, lo que demuestra el fuerte tráfico que existe entre éstos. Otro punto que reafirma esto último es el grado de centralización que tienen estos puertos. El gran volumen de tráfico que poseen Santorini,

Miconos y El Pireo invita a pensar que la cantidad de otros puertos con los que tienen conexión es elevado, sin embargo no ocurre así. En este caso, el elevado volumen de tráfico conecta con pocos puertos pero de manera muy intensa. La fuerte relación que existe entre Miconos, Santorini y El Pireo también se ve reflejada en los grafos. El HACC confirma todo lo anterior, pues para este parámetro estos puertos tienen un predominio casi absoluto según este parámetro (exceptuando el 2016). La importancia en el índice *hub* se basa en la relevancia de los puertos, por tanto si El Pireo conecta con Miconos (que es un puerto importante) su estatus dentro de la red aumenta, y viceversa, Miconos que es ya un puerto importante aumenta su relevancia en la red al conectarse de manera estrecha con El Pireo. Lo mismo ocurriría si se tiene en cuenta al puerto de Santorini, pues se acabarían reforzándose mutuamente. Por último, la posición ocupada por Santorini en los grafos (para aquellos años en los que se tienen datos) puede ser considerada de conexión, pues conecta con puertos de transición como La Valleta, Nápoles, Civitavecchia o Livorno, lo que le hace poseer altos grados de intermediación (Tabla 5.15).

Dubrovnik y Corfu pueden considerarse como puertos principales en esta red de tráfico, aunque de menor importancia que los tres anteriores. El Mediterráneo Oriental puede subdividirse en dos zonas claramente diferenciada en los grafos. La primera de ellas formada por Santorini, Miconos y los puertos con que conectan. La segunda área, es la formada por Dubrovnik, Corfú y aquellos puertos que conectan con éstos. La relación entre Corfu y Dubrovnik puede calificarse de competitiva, la posición de ambos puertos ha ido cambiando con el paso del tiempo. Al inicio del periodo de estudio, Dubrovnik mostraba una posición similar a la de Santorini en el grafo, conectando con puertos de transición, lo que se traduce en el alto grado de intermediación de este puerto en el 2015. No obstante, la posición de Dubrovnik ha ido decreciendo a favor de Corfú hasta el 2017, donde la posición de ambos puertos se invierte, de forma que gran parte del flujo que llega a Dubrovnik pasa por Corfú. A partir de ese momento, ambos puertos rivalizan por una posición preferente en el mar Adriático para el segmento *budget*, lo que hace descender el grado de intermediación, el flujo recibido y el grado de centralidad de ambos.

Existen otros puertos griegos como Kusadasi y Heraklion, que destacan en algunos de los parámetros. En el primer caso, este puerto tiene cierta importancia no sólo por su alto volumen de cruceros (Tabla 5.11), sino por las conexiones con Santorini, Miconos y Dubrovnik (Figura 5.39), lo cual se refleja en su índice *hub* (Tabla ??). Heraklion por otro lado, también tiene relación con dos importantes puertos relevantes: Santorini y Dubrovnik, aunque más estrechamente con el primero, lo que también se traduce en su elevado índice *hub*. Es por esto que para los años en que no se tienen los datos de Santorini la importancia de este puerto disminuye. No obstante, durante los últimos años ha aumentando su HACC, gracias a la conexión de éste con Santorini y Miconos en 2018, y después con Dubrovnik y Santorini en el último año de estudio (Figuras 5.42 y 5.43 respectivamente).

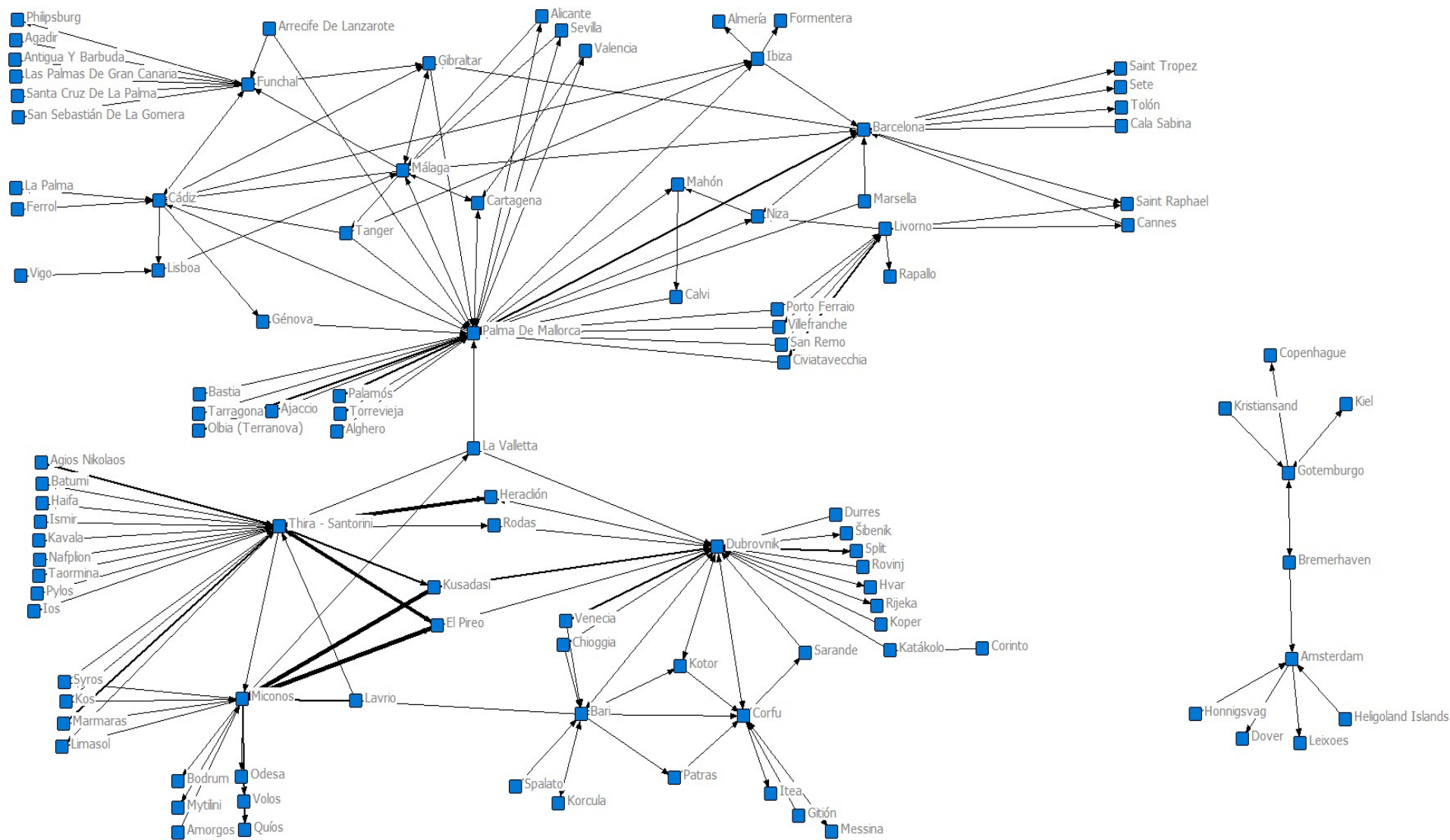
Palma de Mallorca es uno de los puertos del Mediterráneo Occidental más importantes para el tráfico de cruceros en este segmento. La tendencia que ha seguido durante el tiempo de estudio ha sido una primera bajada y posterior recuperación en la mayoría de los parámetros locales calculados. Durante los primeros años de estudio el flujo del puerto Balear fue elevado, no obstante en los años siguientes disminuyó y finalmente en la última parte del estudio el número de cruceros aumentó hasta llegar a ser mayor que inicialmente (Tabla 5.12). El grado de centralización, y de intermediación han evolucionado de forma similar al flujo de cruceros. Esto puede indicar una posición privilegiada de este puerto dentro de la red, ya que conecta con múltiples puertos. Los grafos confirman esto pues se puede observar a Palma como un puerto *hub* por el elevado número de conexiones que tiene y su conexión con otros medios de transporte. Palma puede considerarse como puerto de transición pues une la zona del Mediterráneo Occidental con el Oriental, de hecho, en algunos grafos para cruzar de una región a otra del Mediterráneo se tenía que pasar por Palma (Figura 5.39). Durante la fase media

del estudio se puede observar a otros puertos rivalizando con Palma por esta posición como Ibiza (5.41), aunque para el año 2019 Palma vuelve a recuperar parte de la importancia que tenía al inicio del estudio (5.43).

La Valleta, ha sido un puerto relevante en la red de cruceros del segmento *budget*. A pesar de no tener un elevado flujo de cruceros ni grado de centralización, su grado de intermediación coloca a este puerto por encima de Barcelona y El Pireo (Tabla 5.15). Esto se ve confirmado por los grafos, donde aparece La Valletta como puerto de transición entre las dos zonas del Mediterráneo. No obstante esta importancia va disminuyendo en el tiempo, tal y como muestran los resultados del grado de intermediación, y los grafos. Al inicio del periodo, La Valletta es un puerto clave de transición entre las dos zonas del Mediterráneo, todo el tráfico que va de un lado a otro pasa por este puerto (5.39). Durante los años siguientes puertos como Nápoles o Trapani empiezan a rivalizar con La Valletta, hasta que para el último año de estudio este puerto acaba siendo relegado a una posición secundaria por Civitavecchia, Livorno, Nápoles y Messina. Finalmente, La Valletta termina siendo un puerto más del Mediterráneo Oriental, al conectar sólo con Corfú, Dubrovnik y Santorini (5.43).

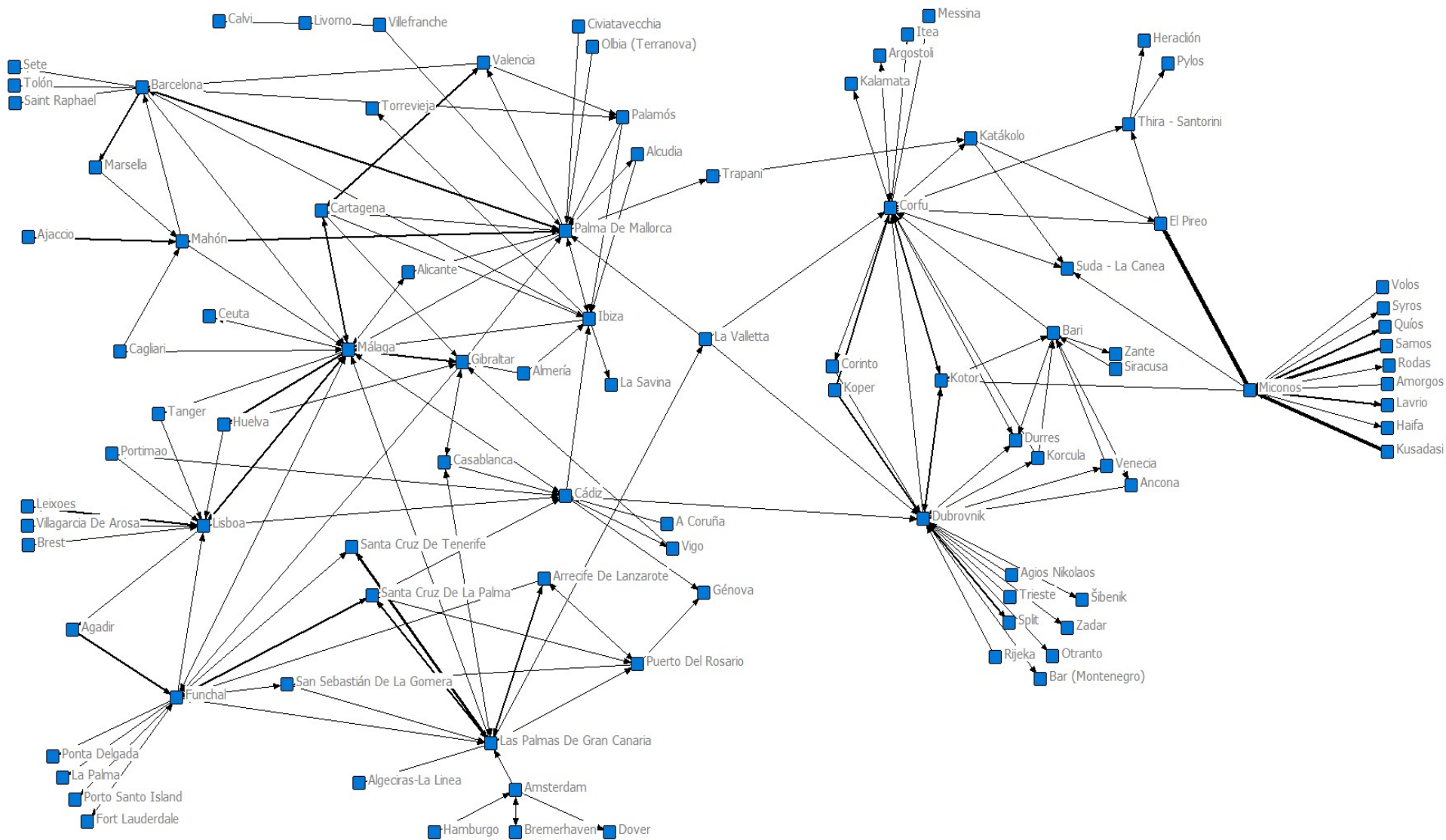
Málaga ha sido uno de los puertos más relevantes del Mediterráneo Occidental en el tráfico de cruceros del segmento *budget*. El crecimiento de este puerto durante los años centrales de estudio ha sido significativo, no sólo en el flujo de cruceros, si no también en el grado de centralización e intermediación. La posición geográfica de Málaga entre el Atlántico, y su apropiada infraestructura para cruceros hacen a este puerto idóneo para convertirse en un *hub* que recoja el tráfico proveniente del Atlántico, y lo dirija hacía sus puertos mediterráneos de destino, y viceversa tal y como se muestra en los grafos (Figura 5.39).

Por último, remarcar que el Norte de Europa apenas tiene importancia en este tipo de tráfico de cruceros, lo cual confirma el hecho de que el segmento *budget* desarrolla su actividad de forma casi exclusiva en el área mediterránea.



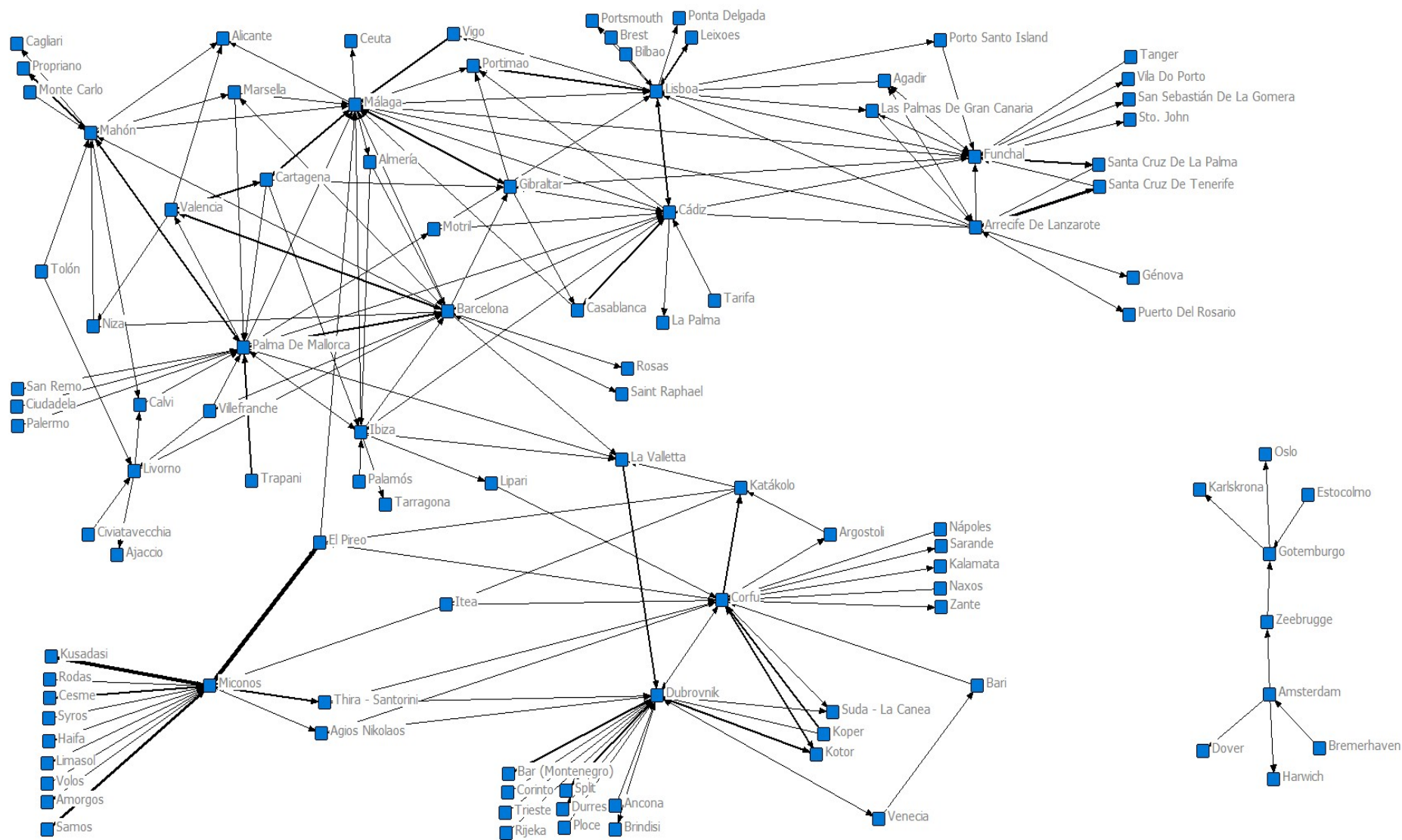
Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.39. Grafo del tráfico de cruceros del segmento *Budget* en el año 2015



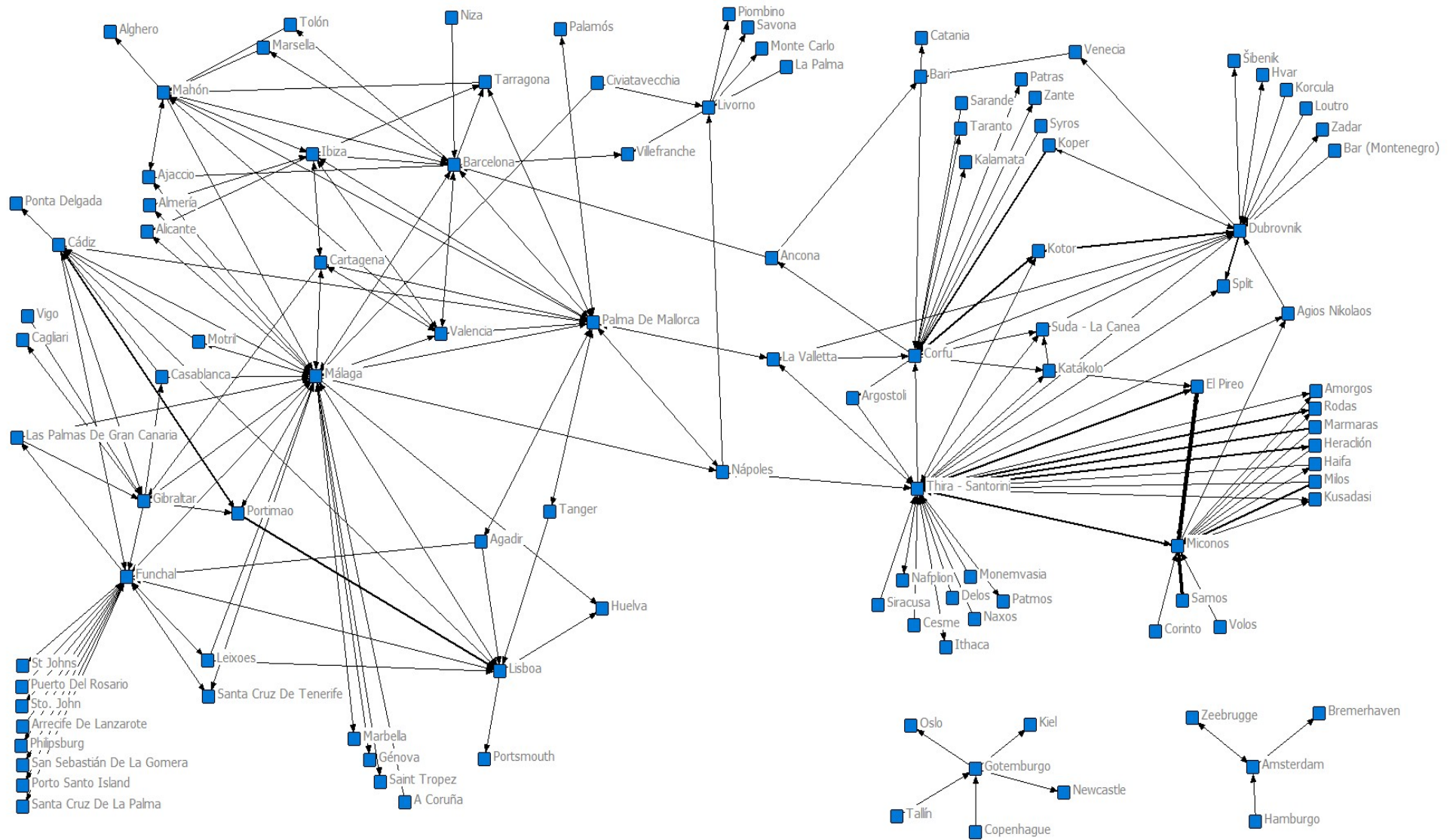
Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.40. Grafo del tráfico de cruceros del segmento *Budget* en el año 2016



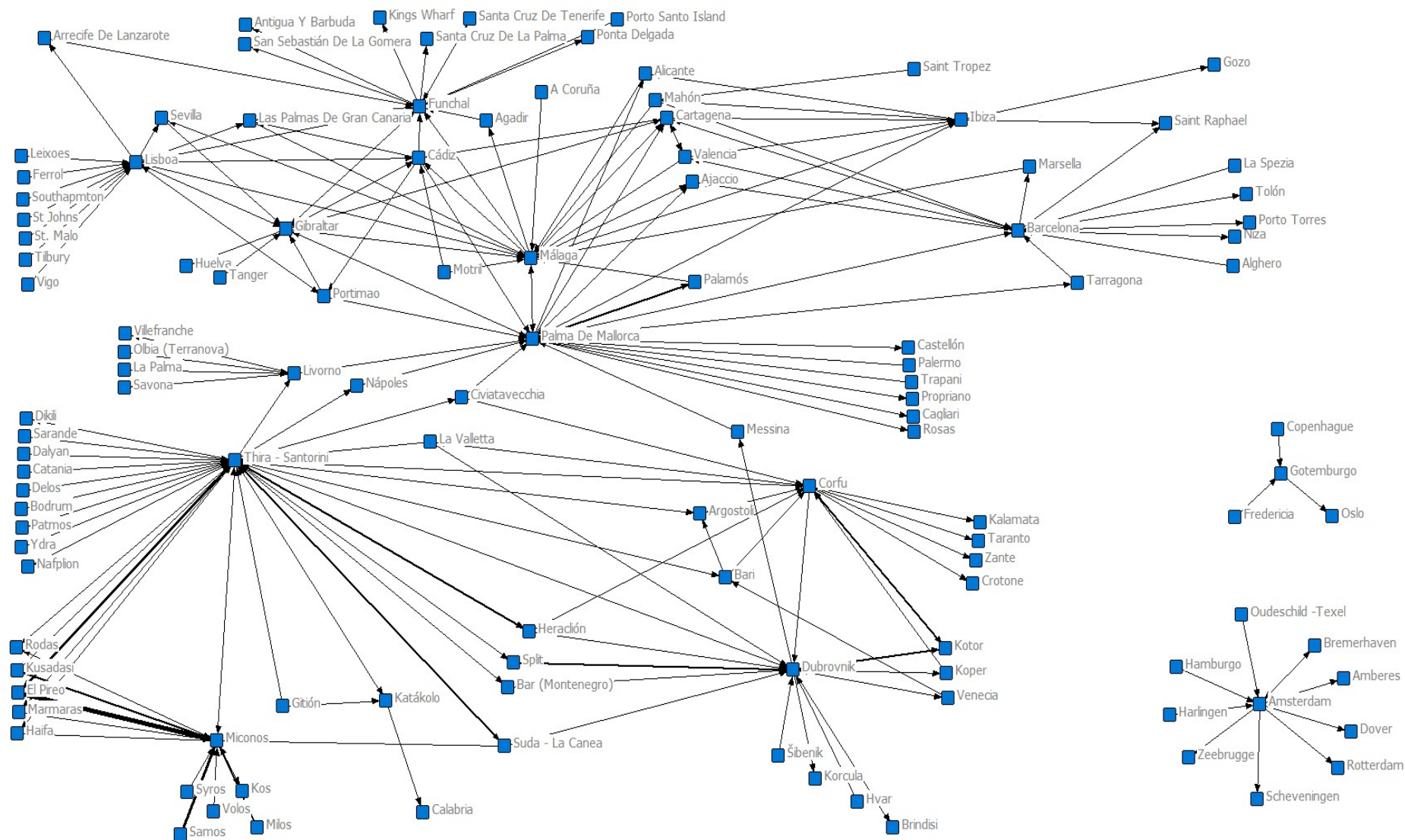
Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.41. Grafo del tráfico de cruceros del segmento *Budget* en el año 2017



Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.42. Grafo del tráfico de cruceros del segmento *Budget* en el año 2018



Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.43. Grafo del tráfico de cruceros del segmento *Budget* en el año 2019

5.1.3. Segmento *Contemporary*.

Resultados globales

El segmento *contemporary* se dedica a ofertar cruceros para el público general, tal y como se ha descrito en el capítulo 1. La densidad que tiene este segmento del mercado de cruceros ha descendido durante el tiempo de estudio, aunque a partir del año 2018 se da un efecto 'rebote' (Figura 5.44b). El descenso de la densidad se debe al aumento en el número de conexiones y la estabilidad del de nodos. El efecto producido en los últimos años donde se aumenta la densidad se debe al incremento en el número de nodos totales en la red. El segmento de cruceros *contemporary*, puede decirse que está creciendo en Europa, pues tanto el número de conexiones como de nodos tienen una tendencia ascendente (Figura 5.44a).

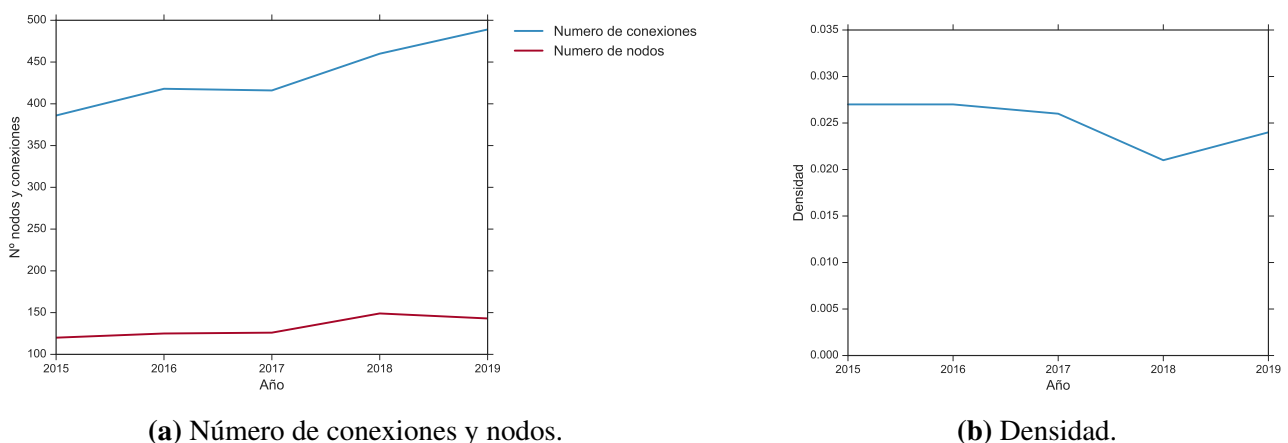


Figura 5.44. Métricas globales del mercado de cruceros europeo del segmento *Contemporary*.

El grado de centralización también ha variado en el tiempo de estudio en forma de 'u'. Durante los años 2016 y 2017 este parámetro disminuyó y se mantuvo bajo. Esto puede deberse a la falta de datos que se tienen del puerto de Santorini durante estos años tal y como ocurría en el segmento *budget* (Figura 5.32), aunque mucho más amortiguado debido a la menor importancia de éste en el segmento *contemporary*. No obstante, puede deberse a otros factores como la ligera disminución de flujo de cruceros en los principales puertos. Por último, los puertos predominantes para el segmento *budget* eran los pertenecientes al Mediterráneo Oriental, mientras que en este caso son los del Occidental. No obstante, todo lo anterior se confirmará en los siguientes apartados.

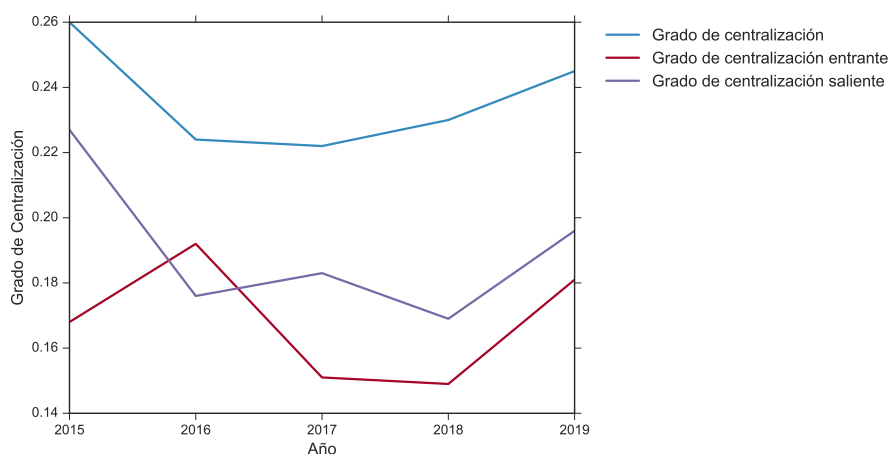


Figura 5.45. Grado de centralización global, saliente y entrante para el segmento *contemporary*.

Resultados locales

La cantidad de puertos con los que cuenta la red de tráfico interportuario del segmento *contemporary* de cruceros es mucho menor que la europea, por eso al igual que para el segmento *budget*, tan sólo se van a mostrar los cinco primeros puertos en el gráfico.

Flujo recibido e iniciado. La figura 5.46 muestra los cinco primeros puertos con mayor flujo iniciado del mercado europeo de cruceros en el segmento *Contemporary*, mientras que la 5.47 muestra los puertos con mayores flujos recibido. El dominio del Mediterráneo Occidental es absoluto en términos de volumen en el tráfico de cruceros (recibido e iniciado) para este segmento a diferencia del anterior. Los dos primeros puertos se sitúan a una distancia considerable del resto. La tendencia de los primeros puertos puede considerarse neutra, pues no crece ni decrece en ambos casos, mientras que el resto de puertos (del tercero al quinto) sí parecen tener cierta tendencia positiva.

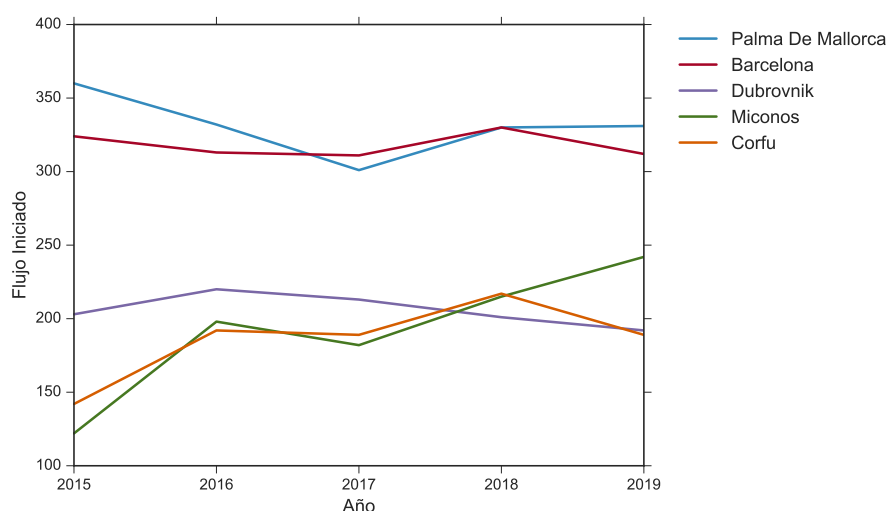


Figura 5.46. Flujo iniciado del mercado europeo de cruceros para los puertos más relevantes del segmento *Contemporary*.

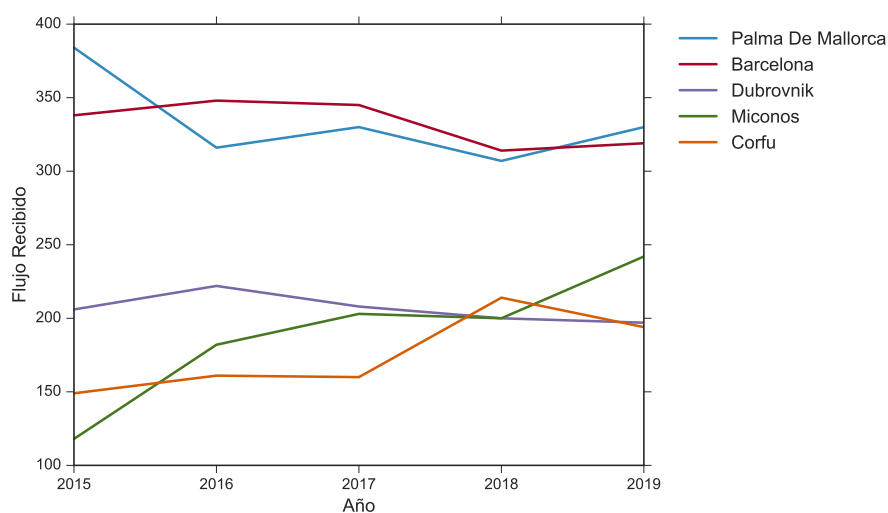


Figura 5.47. Flujo recibido del mercado europeo de cruceros para los puertos más relevantes del segmento *Contemporary*.

Tabla 5.17. Los 15 puertos con más tráfico iniciado y su evolución durante los años de estudio para el segmento *Contemporary*.

Puerto	2015	2016	2017	2018	2019
Palma De Mallorca	360	332	301	330	331
Barcelona	324	313	311	330	312
Dubrovnik	203	220	213	201	192
Miconos	122	198	182	215	242
Corfu	142	192	189	217	189
Thira - Santorini	171	67	54	264	342
Marsella	205	179	165	110	112
Bari	128	129	119	178	210
Venecia	157	154	136	141	158
Livorno	135	93	158	152	181
Katákoló	135	158	148	145	128
Valencia	183	194	173	63	82
Civiatavecchia	92	124	164	126	174
El Pireo	106	84	104	159	187
Málaga	113	96	99	93	105

Tabla 5.18. Los 15 puertos con más tráfico recibido y su evolución durante los años de estudio para el segmento *Contemporary*.

Puerto	2015	2016	2017	2018	2019
Palma De Mallorca	384	316	330	307	330
Barcelona	338	348	345	314	319
Dubrovnik	206	222	208	200	197
Miconos	118	182	203	200	242
Corfu	149	161	160	214	194
Thira - Santorini	174	44	35	247	320
Venecia	141	184	138	188	153
Valencia	234	198	205	75	80
Livorno	135	96	168	166	187
Bari	110	128	127	181	198
Katákoló	118	145	139	137	125
El Pireo	65	118	145	143	122
Marsella	99	115	119	115	142
Málaga	121	94	100	95	103
Cannes	93	63	92	77	87

Grado de centralización entrante y saliente. Las figuras 5.48 y 5.49 muestran los puertos con mayores grados de centralización entrante y saliente respectivamente. A diferencia del flujo, en este caso la distancia entre los dos principales puertos y los restantes no es tan acentuada. El área geográfica a la que pertenecen los puertos con mayor grado de centralización son tres, el Mediterráneo Occidental, Oriental y el Atlántico. Esto demuestra que en el segmento *Contemporary* los viajes que se ofertan están fuertemente sujetos a itinerarios fijos, pues un elevado volumen de cruceros no implica un nivel similar de puertos con los que se conecta. Un ejemplo puede ser Barcelona que posee un flujo de cruceros muy superior al de Málaga, y sin embargo el número de puertos con los que ambos conectan (grado de centralización) es similar.

La tendencia que muestra el grado de centralización para puertos como Barcelona y Palma es como anteriormente, puede considerarse neutra como el caso del flujo. Sin embargo, para el resto de puertos esta tendencia sí parece adquirir un carácter positivo, aunque como ya se verá después esto puede deberse en gran medida a la localización geográfica favorable que ocupan, especialmente Lisboa y Málaga.

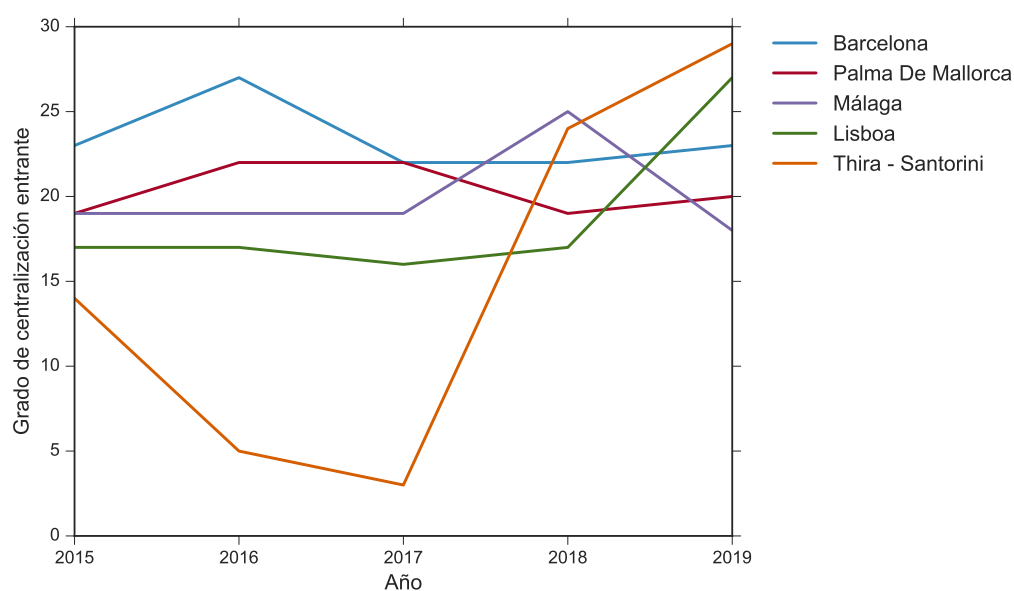


Figura 5.48. Grado de centralización entrante de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento *Contemporary*.

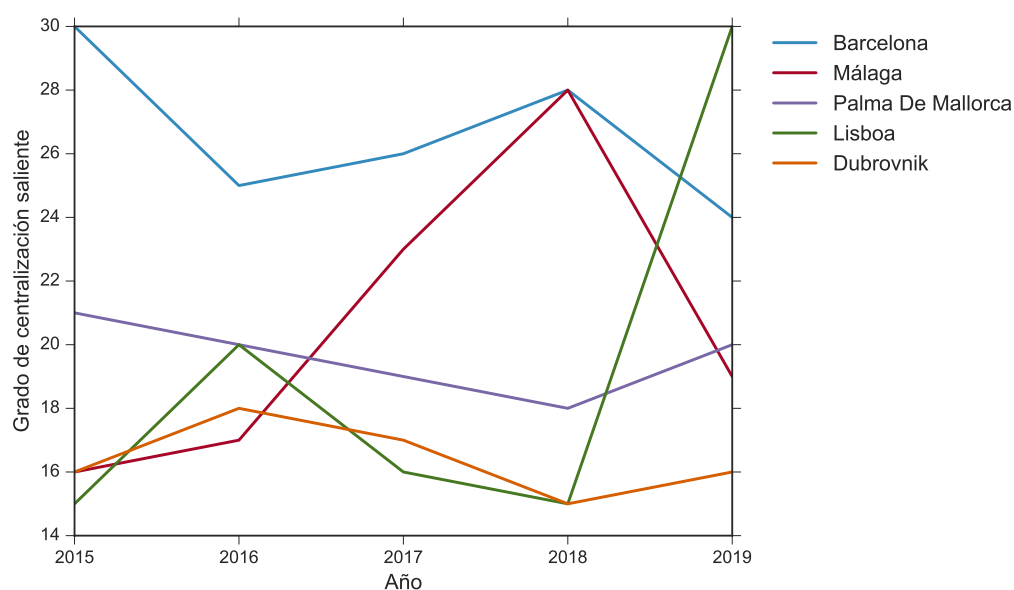


Figura 5.49. Grado de centralización saliente de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento *Contemporary*.

Tabla 5.19. Los 15 puertos con mayor grado de centralización entrante y su evolución durante los años de estudio para el segmento *Contemporary*.

Puerto	2015	2016	2017	2018	2019
Barcelona	23	27	22	22	23
Palma De Mallorca	19	22	22	19	20
Málaga	19	19	19	25	18
Lisboa	17	17	16	17	27
Thira - Santorini	14	5	3	24	29
Funchal	21	10	12	14	15
Miconos	11	16	17	9	17
Corfu	12	11	10	17	14
Katákolo	9	12	14	16	13
Dubrovnik	13	14	12	9	15
Cádiz	7	12	13	13	16
Amsterdam	9	10	13	15	11
Gibraltar	4	19	12	11	12
Valencia	9	8	13	12	11
Livorno	11	8	8	10	13

Tabla 5.20. Los 15 puertos con mayor grado de centralización saliente y su evolución durante los años de estudio para el segmento *Contemporary*.

Puerto	2015	2016	2017	2018	2019
Barcelona	30	25	26	28	24
Málaga	16	17	23	28	19
Palma De Mallorca	21	20	19	18	20
Lisboa	15	20	16	15	30
Dubrovnik	16	18	17	15	16
Thira - Santorini	17	4	3	27	31
Funchal	15	11	14	16	16
Katákolo	11	15	14	15	15
Miconos	10	17	12	14	17
Cádiz	11	9	15	11	18
Corfu	10	12	11	15	14
Livorno	10	11	14	13	12
Valencia	9	12	10	11	12
Amsterdam	11	10	10	15	7
Gibraltar	5	17	10	9	9

Grado de intermediación. El grado de intermediación es especialmente efectivo para descubrir qué puertos son puntos de conexión entre distintas zonas, tal y como se ha hecho anteriormente. La figura 5.50 muestra los puertos con mayor grado de intermediación del segmento *contemporary*. Las tendencias que se pueden observar son varias: las fluctuaciones que experimenta Barcelona indican una tendencia decreciente en este tipo de parámetro, quizá esté perdiendo importancia como puerto de transición entre dos zonas por su localización geográfica. Por otra parte, Lisboa muestra un aumento significativo, consolidándose como puerto de transición entre el Norte de Europa y el Atlántico, como ya se ha visto a nivel global. Por último Málaga y Amsterdam, tienen tendencias similares, una crecida en 2018 para posteriormente sufrir una disminución del grado de intermediación.

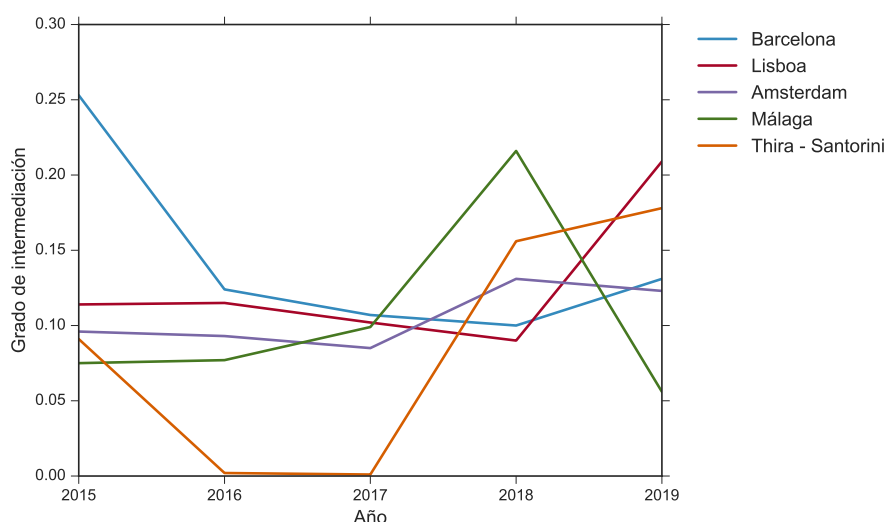


Figura 5.50. Grado de intermediación de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento *contemporary*.

Tabla 5.21. Los 15 puertos con mayor grado de intermediación y su evolución durante los años de estudio para el segmento *Contemporary*.

Puerto	2015	2016	2017	2018	2019
Barcelona	0,253	0,124	0,107	0,100	0,131
Lisboa	0,114	0,115	0,102	0,09	0,209
Amsterdam	0,096	0,093	0,085	0,131	0,123
Málaga	0,075	0,077	0,099	0,216	0,056
Thira - Santorini	0,091	0,002	0,001	0,156	0,178
Funchal	0,117	0,032	0,052	0,082	0,119
Miconos	0,045	0,112	0,127	0,038	0,057
Dubrovnik	0,108	0,091	0,075	0,037	0,046
Palma De Mallorca	0,079	0,059	0,095	0,044	0,066
Gotemburgo	0,040	0,129	0,082	0,030	0,039
Katákoló	0,033	0,080	0,068	0,059	0,039
Civiatavecchia	0,055	0,028	0,050	0,043	0,101
Southampton	0,091	0,002	0,030	0,128	0,000
Cádiz	0,058	0,022	0,054	0,043	0,056
La Valletta	0,025	0,015	0,054	0,071	0,022

Índice Hub. El índice *hub* de los principales puertos con este parámetro se muestra en la figura 5.51. Este caso presenta un dominio absoluto de los puertos del Mediterráneo Occidental durante prácticamente todo el tiempo de estudio, concretamente Barcelona, Palma, Valencia y Marsella. La aparición de este último puerto francés en esta lista se debe a la fuerte conexión que existe entre estos cuatro puertos, relación que ha sido mencionada previamente en el análisis global del Mediterráneo Occidental. Por último, recalcar el aumento súbito en el índice *hub* de puertos orientales como Santorini, Miconos, Corfu, Dubrovnik y Venecia, el cual puede deberse al aumento del flujo de cruceros que han sufrido estos dos primeros puertos si se compara el año 2015 y 2019. No obstante, se tratará la situación de cada puerto de manera más particular en la siguiente sección.

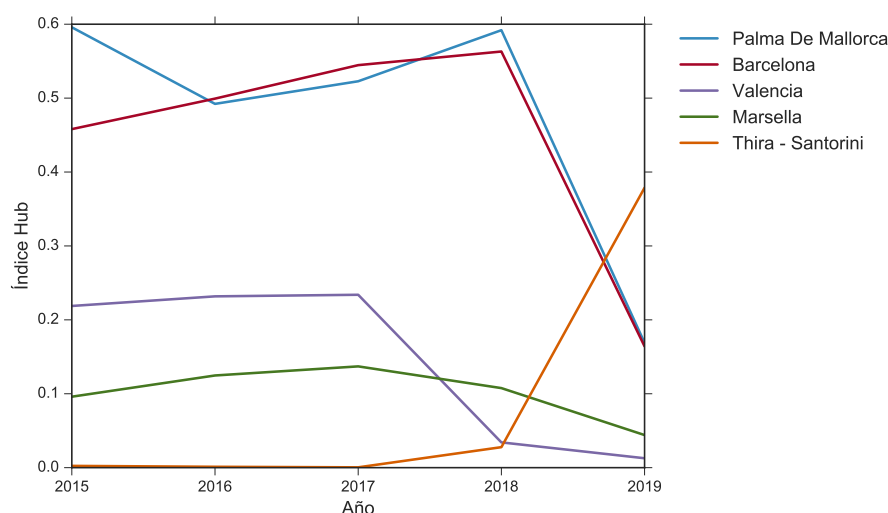


Figura 5.51. Índice *hub* de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento *contemporary*.

Tabla 5.22. Los 15 puertos con mayor índice *hub* y su evolución durante los años de estudio para el segmento *Contemporary*.

Puerto	2015	2016	2017	2018	2019
Palma De Mallorca	0,59583	0,49222	0,52280	0,59192	0,16890
Barcelona	0,45806	0,49932	0,54462	0,56306	0,16412
Valencia	0,21877	0,23178	0,23392	0,03419	0,01273
Marsella	0,09601	0,12472	0,13703	0,10764	0,04411
Thira - Santorini	0,00240	0,00118	0,00044	0,02773	0,37871
Miconos	0,00182	0,01124	0,00804	0,02254	0,24760
Bari	0,00171	0,01117	0,00496	0,02303	0,22452
Corfu	0,00319	0,01653	0,00906	0,02725	0,19702
Dubrovnik	0,00498	0,02658	0,01162	0,02313	0,13895
Venecia	0,00292	0,02116	0,00607	0,02112	0,13300
Livorno	0,01656	0,01265	0,03848	0,05335	0,03356
El Pireo	0,00058	0,00694	0,00524	0,01466	0,12120
Cannes	0,03383	0,01758	0,03235	0,05200	0,00994
Ibiza	0,01326	0,02675	0,04942	0,03302	0,01419
La Valletta	0,01918	0,06910	0,01700	0,01265	0,00897

Grafos

Las tendencias que se han deducido en el apartado anterior se van a ver confirmadas con la representación de los siguientes Grafos. En este apartado, al igual que en el mercado global, se va a describir el papel que tienen cada puerto en el mercado europeo de cruceros del segmento *Contemporary* de manera más particular.

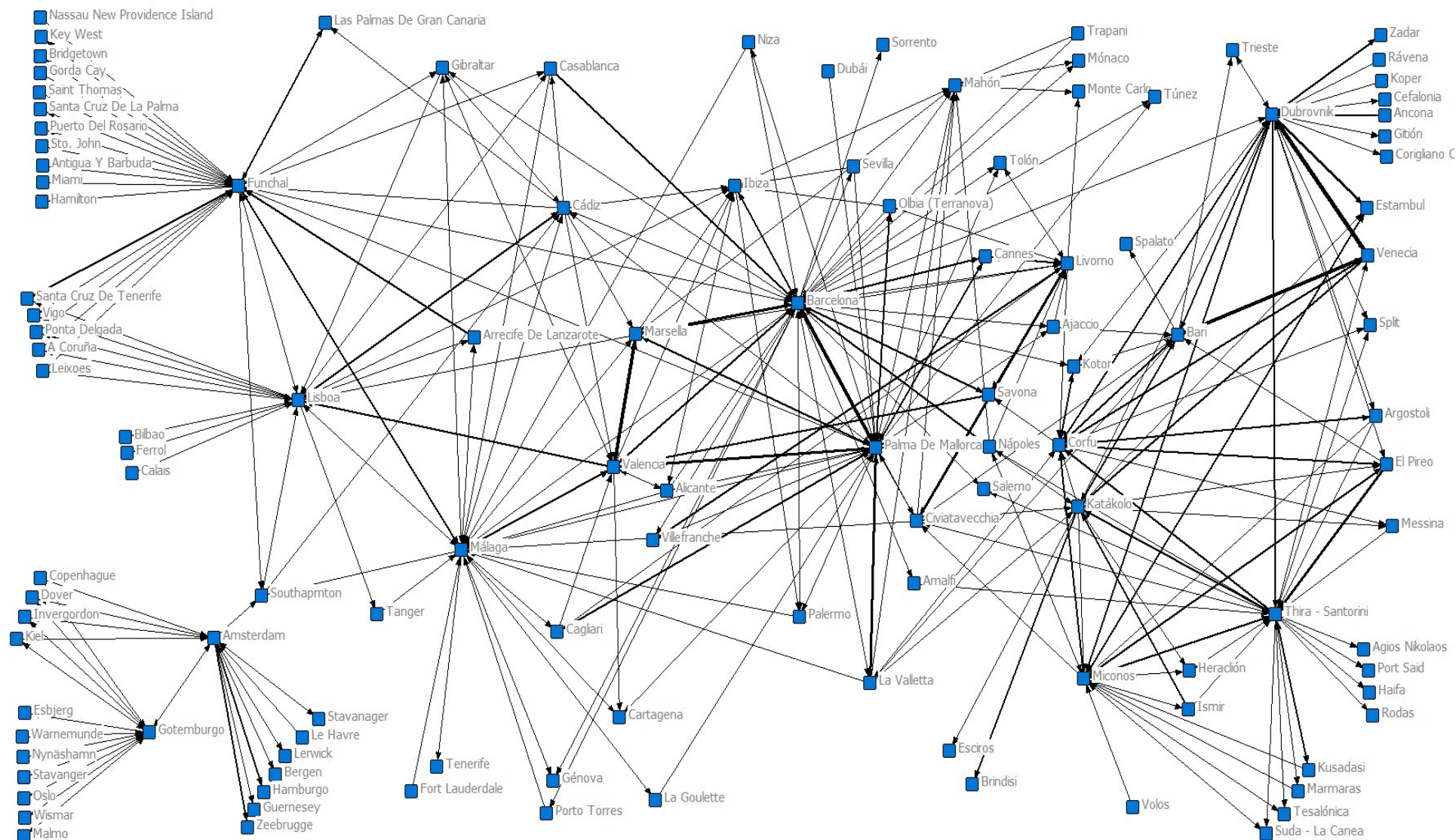
Barcelona, Palma, Marsella y Valencia pueden ser considerados cuatro de los puertos más relevantes en el tráfico de cruceros para el segmento *contemporary*. Los dos primeros puertos se encuentran muy por encima de otros si se considera el flujo de cruceros recibido e iniciado, así como el grado de centralización (aunque en menor medida). Barcelona y Palma pueden estar mostrando

signos de estancamiento debido a que la tendencia es más bien estable y apenas varía durante el tiempo. Valencia y Marsella se encuentran en un escalón inferior, aunque hay que recalcar que del puerto francés no se tienen datos del propio puerto. Valencia y Marsella se muestran como relevantes por su estrecha relación con Barcelona y Palma, lo que tiene como consecuencia un aumento en su HACC. Los grafos revelan la importante posición de este cuarteto, pues se puede observar que la mayor parte del tráfico de cruceros en el Mediterráneo Occidental gira en torno a este conjunto de puertos. Además, éstos tienen algunas conexiones con otros pertenecientes a otras áreas geográficas.

Dubrovnik y Venecia son dos de los puertos más importantes del mar Adriático. El flujo de cruceros que reciben estos puertos es elevado, pues se colocan entre los diez primeros, incluso a pesar de no trabajar con los datos propios de Venecia, lo que acentúa aún más su importancia. No obstante, el grado de centralización es algo menor debido a la posición geográfica que tienen, pues al mar Adriático sólo se puede acceder por la parte Sur. Esto hace de esta zona un lugar casi exclusivo de destino, y no de transición, lo que hace descender el número de puertos distintos con los que conecta. El grado de intermediación puede calificarse de bajo tras comprobarlo en la tabla, lo cual, explica todo lo anterior. No obstante, sus altos flujos de cruceros y las relaciones con puertos como El Pireo hacen que su índice *hub* aumente.

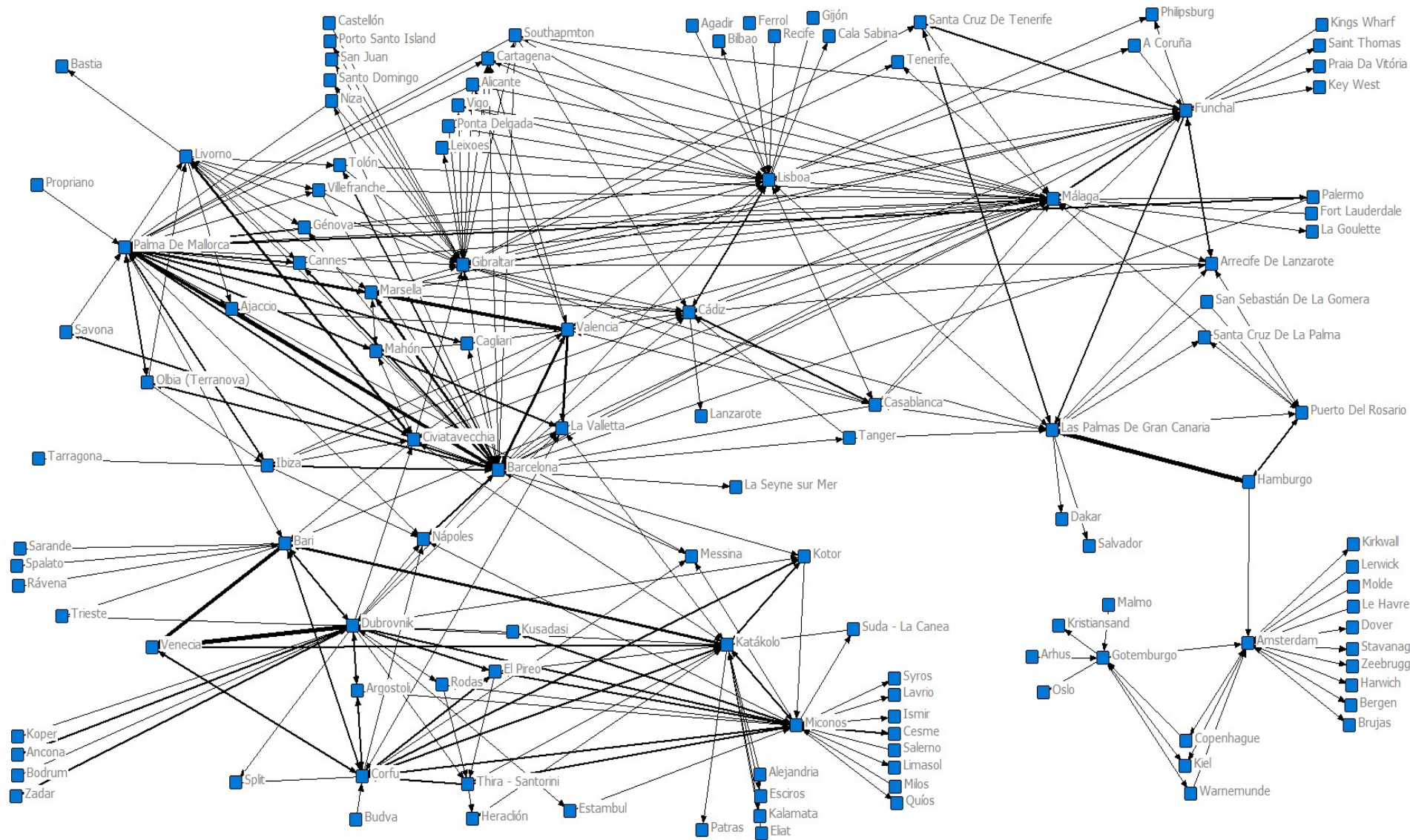
Santorini, Miconos y El Pireo, al igual que antes son los puertos más destacados del Mediterráneo Oriental. El flujo de cruceros y el grado de centralización de estos puertos han mostrado una tendencia positiva durante el tiempo de estudio, especialmente el puerto de Santorini en 2019. Este aumento del número de puertos que conectan con Santorini y Miconos implica una ampliación del mercado oriental pues la relación de estos puertos con otros occidentales no se ve aumentada tal y como se observa en los grafos. Lo último puede ser debido a que este tipo de conexiones implican demasiado tiempo de navegación en los ajustados itinerarios de las navieras del segmento contemporary.

Por último, destacar varios puertos de transición como Civitavecchia, Nápoles, Ajaccio y La Valletta, entre otros que unen las dos partes del Mediterráneo, de hecho algunos aparecen como relevantes en la tabla 5.21. Estos puertos conectan con los más relevantes de sendas zonas del Mediterráneo como Barcelona, Palma o Livorno con Santorini, Corfú o Dubrovnik. De todos estos los más relevantes son Civitavecchia, Nápoles y La Valletta. Por otro lado, Southampton y Hamburgo también pueden ser considerados como puertos de transición que unen el Atlántico y la zona del Norte de Europa, generalmente con Amsterdam debido a la posición geográfica favorable que ocupa este puerto a la entrada del mar del Norte. No obstante, la tendencia es que cada vez más puertos atlánticos conecten con el Norte de Europa. En el caso de las zonas del Mediterráneo Occidental y el Atlántico no observan puertos de transición tan claramente como en los dos casos anteriores.



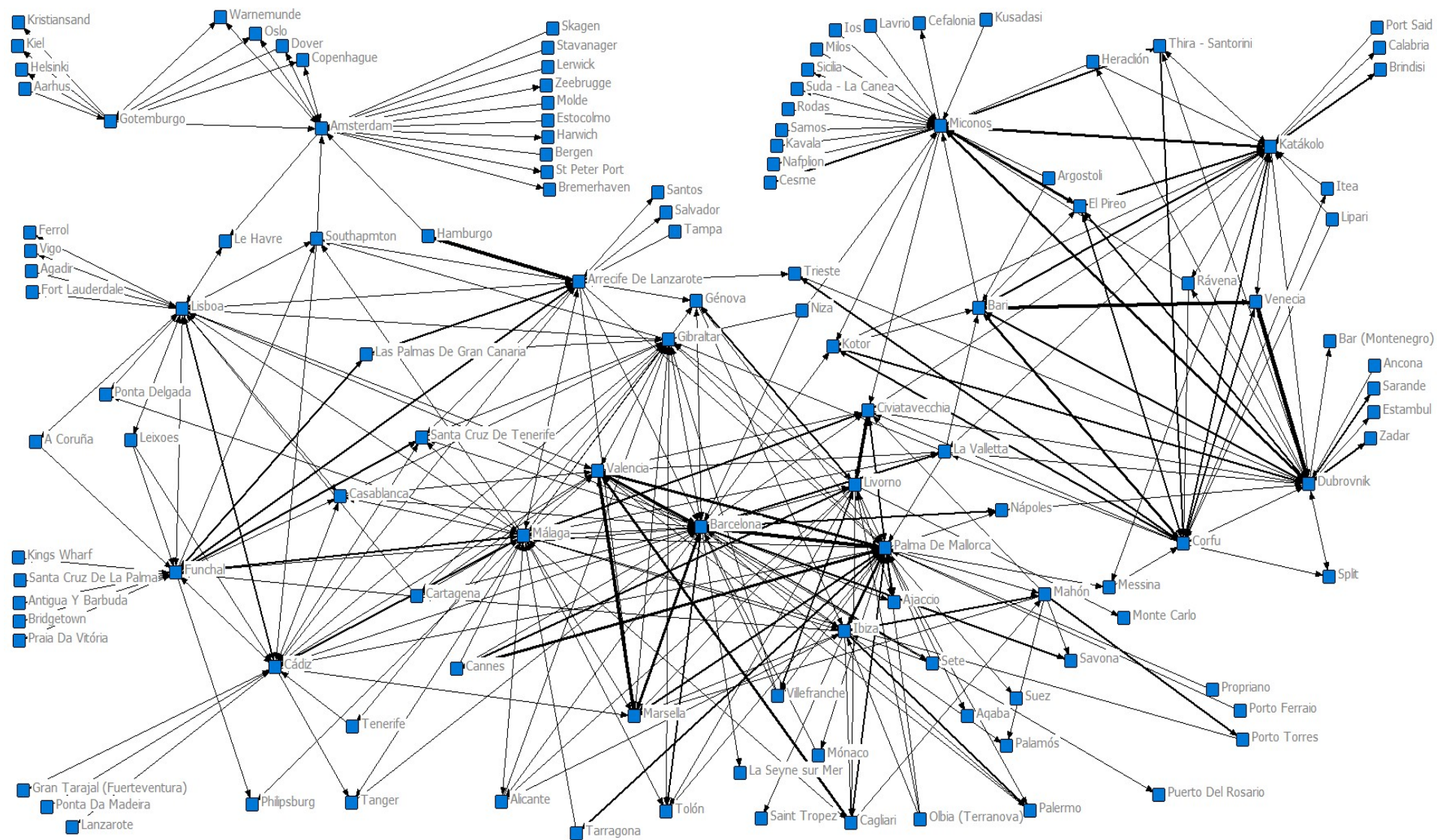
Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.52. Grafo del tráfico de cruceros del segmento *Contemporary* en el año 2015



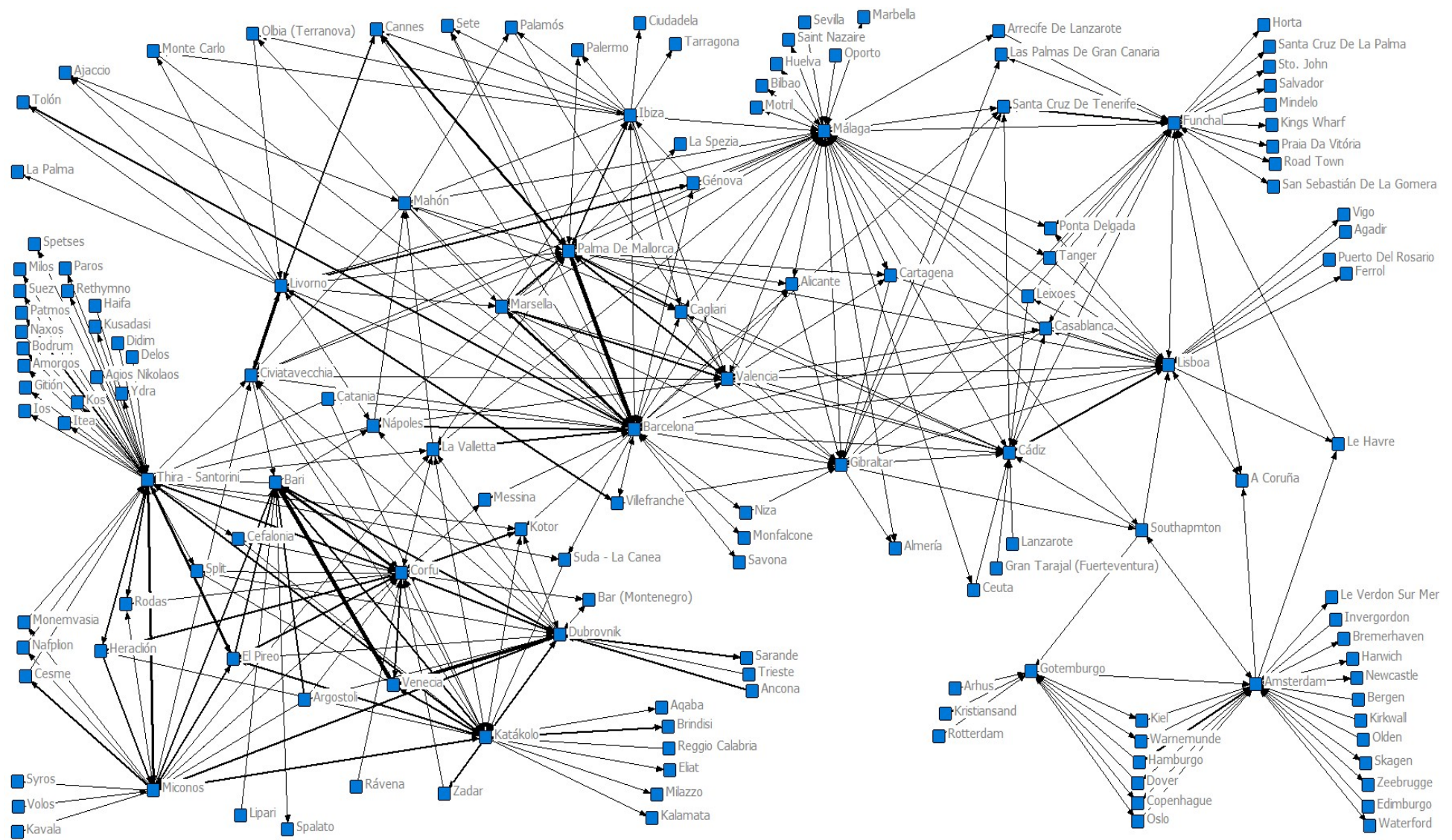
Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.53. Grafo del tráfico de cruceros del segmento *Contemporary* en el año 2016



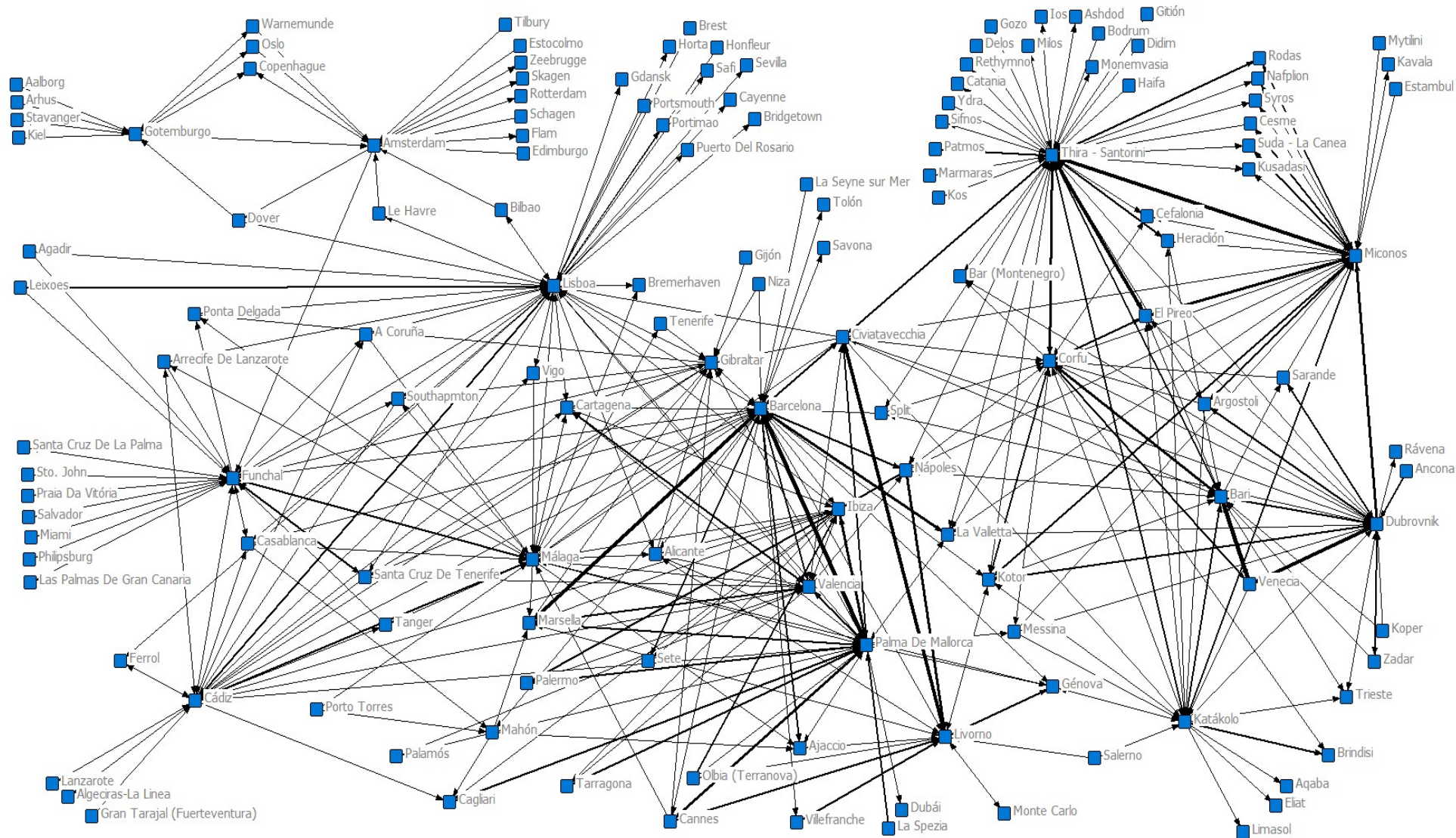
Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.54. Grafo del tráfico de cruceros del segmento *Contemporary* en el año 2017



Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.55. Grafo del tráfico de cruceros del segmento *Contemporary* en el año 2018



Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.56. Grafo del tráfico de cruceros del segmento *Contemporary* en el año 2019

5.1.4. Segmento *Premium*.

Resultados globales

El segmento *premium* oferta cruceros para el público más selecto y que generalmente ya han hecho un crucero previamente. La densidad que tiene este segmento del mercado de cruceros se ha mantenido estable durante el tiempo de estudio, exceptuando un pequeño aumento en el año 2016 (Figura 5.57b). Este incremento de la densidad en el 2016 es debido al ligero descenso del número de nodos que se da en ese año. El aumento proporcional del número de conexiones y nodos en la última fase de estudio ha hecho que la densidad se mantenga constante durante esta etapa. El segmento de cruceros *premium*, puede decirse que se está manteniendo en Europa, pues tanto el número de conexiones y nodos tienen cierta tendencia permanecer constante (Figura 5.57b).

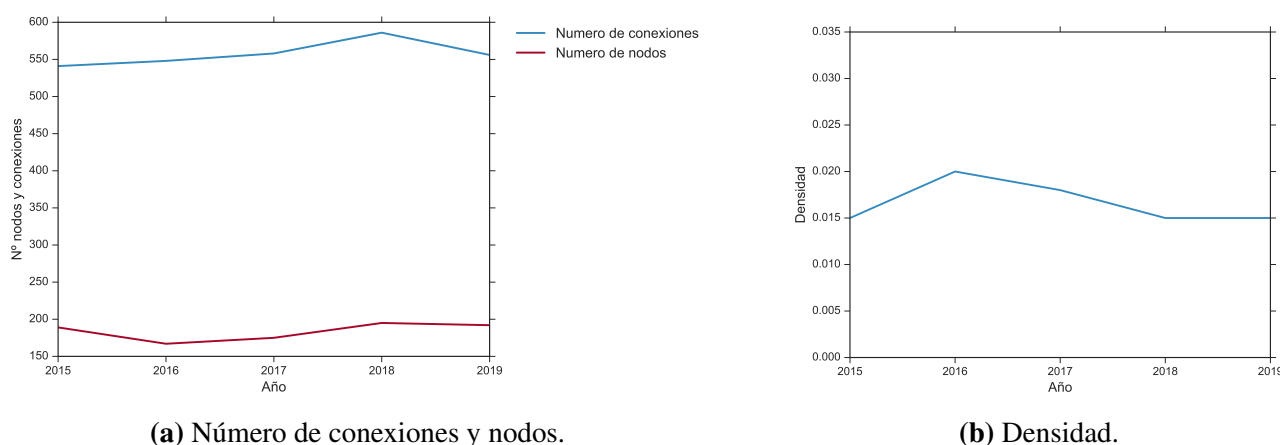


Figura 5.57. Métricas globales del mercado de cruceros europeo del segmento *premium*.

El grado de centralización por el contrario sí ha tenido fluctuaciones notables en el tiempo de estudio. Durante los años 2016 y 2017 este parámetro registró un aumento apreciable. Esto puede indicar que los puertos más importantes de este segmento aumentaron su relevancia en mitad del tiempo de estudio, aunque posteriormente en la etapa final este parámetro desciende hasta situarse en niveles similares a los iniciales. Otra posible hipótesis que se puede extraer de las anteriores figuras, es que en este segmento existe más diversidad de puertos, lo que implica un mayor número de éstos y conexiones, aunque éstas de menor intensidad que en el caso de otros segmentos. No obstante, estas posible hipótesis va a estudiarse más profundamente con las métricas locales.

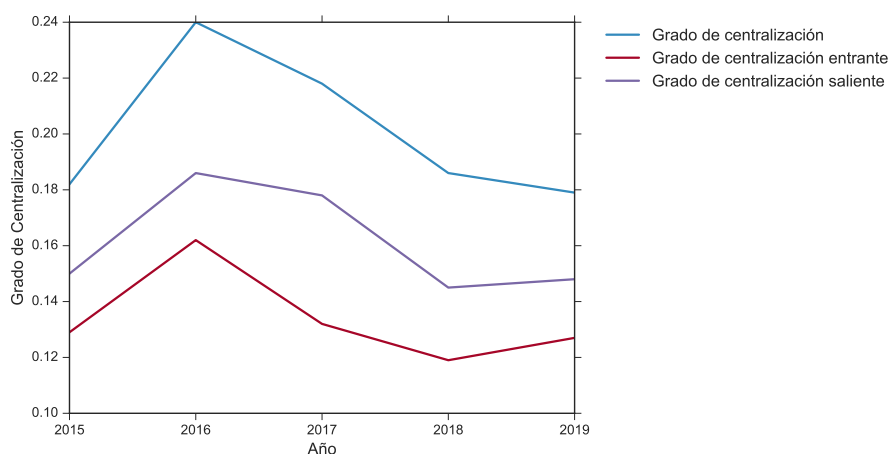


Figura 5.58. Grado de centralización global, saliente y entrante para el segmento *premium*.

Resultados locales.

Flujo recibido e iniciado. La figura 5.59 muestra los cinco primeros puertos con mayor flujo iniciado del mercado europeo de cruceros en el segmento *Premium*, mientras que la 5.60 muestra los puertos con mayor flujo recibido. El tráfico de cruceros parece tener una tendencia decreciente en los principales puertos para el segmento *premium* en ambos sentidos, tanto en el recibido como en el iniciado. El flujo de Southampton lo coloca como relevante en este segmento. El bajo volumen de tráfico que presenta este puerto en 2015 es debido a su fuerte relación con Gibraltar, pues ésta ha sido uno de las principales conexiones de Southampton durante el tiempo de estudio, lo que puede ser confirmado observando la tabla 5.23.

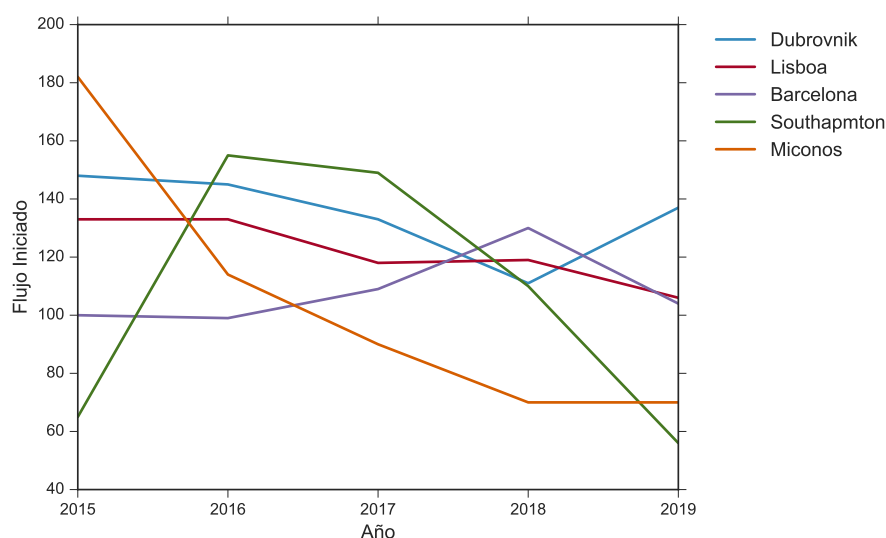


Figura 5.59. Flujo iniciado del mercado europeo de cruceros para los puertos más relevantes del segmento *Premium*.

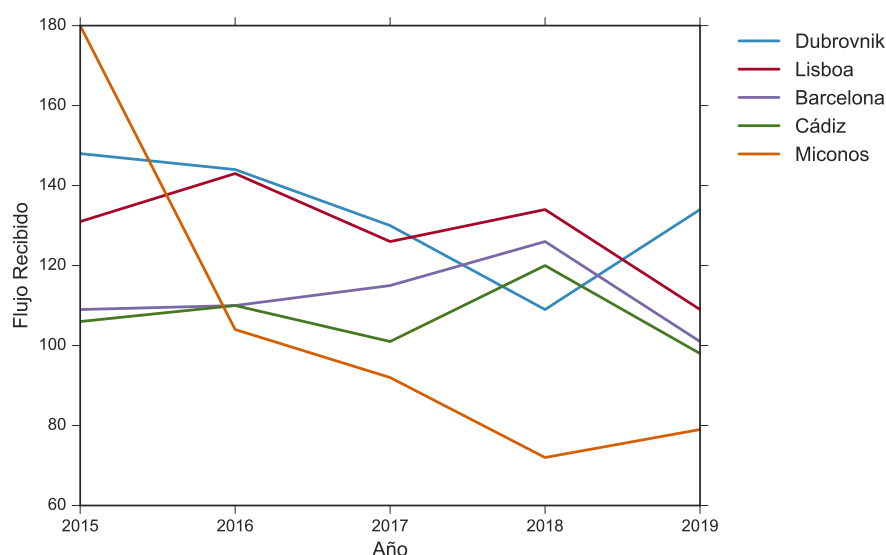


Figura 5.60. Flujo recibido del mercado europeo de cruceros para los puertos más relevantes del segmento *Premium*.

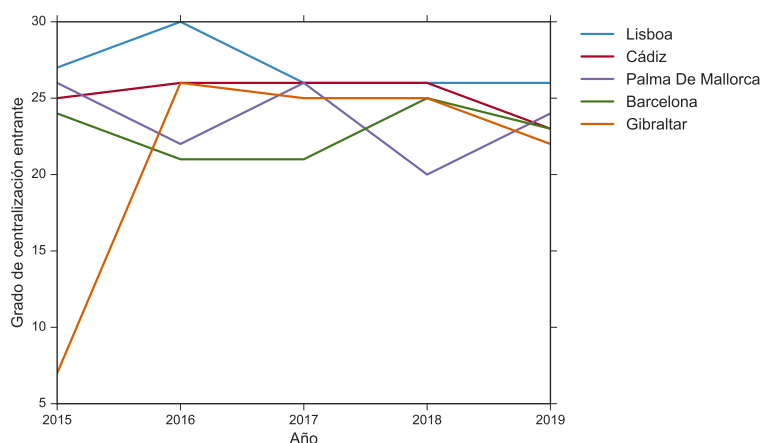
Tabla 5.23. Los 15 puertos con más tráfico iniciado y su evolución durante los años de estudio para el segmento *Premium*.

Puerto	2015	2016	2017	2018	2019
Dubrovnik	148	145	133	111	137
Lisboa	133	133	118	119	106
Barcelona	100	99	109	130	104
Southapmton	65	155	149	110	56
Miconos	182	114	90	70	70
Cádiz	107	110	99	105	99
Gibraltar	25	111	134	129	102
Palma De Mallorca	73	91	104	108	101
Málaga	69	78	84	87	74
Livorno	102	53	61	79	81
Corfu	87	89	66	55	77
Thira - Santorini	165	21	5	69	80
Funchal	68	73	66	65	59
Kotor	49	67	56	47	50
Amsterdam	38	38	58	58	53

Tabla 5.24. Los 15 puertos con más tráfico recibido y su evolución durante los años de estudio para el segmento *Premium*.

Puerto	2015	2016	2017	2018	2019
Dubrovnik	148	144	130	109	134
Lisboa	131	143	126	134	109
Barcelona	109	110	115	126	101
Cádiz	106	110	101	120	98
Miconos	180	104	92	72	79
Southampton	76	153	145	65	52
Gibraltar	16	120	125	125	101
Palma De Mallorca	76	92	107	101	102
Málaga	69	79	82	76	79
Livorno	108	53	62	81	75
Corfu	84	89	65	56	72
Funchal	70	77	69	76	61
Kotor	72	86	75	43	69
Thira - Santorini	164	8	4	72	86
Amsterdam	38	30	58	58	52

Grado de centralización entrante y saliente. Las figuras 5.61 y 5.62 muestran los puertos con mayores grados de centralización entrante y saliente respectivamente. A diferencia del flujo, en este caso los puertos más relevantes pertenecen al Mediterráneo Occidental y el Atlántico, lo que da una idea de la distribución en el tráfico de cruceros del segmento *Premium*. La región del Mediterráneo Oriental, parece perder relevancia en este segmento respecto de los anteriores. Las tendencias que sigue este parámetro en los puertos más relevantes, son neutras a excepción de un ligero descenso del puerto Cádiz, y el pequeño aumento que registra Dubrovnik.

**Figura 5.61.** Grado de centralización entrante de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento *Premium*.

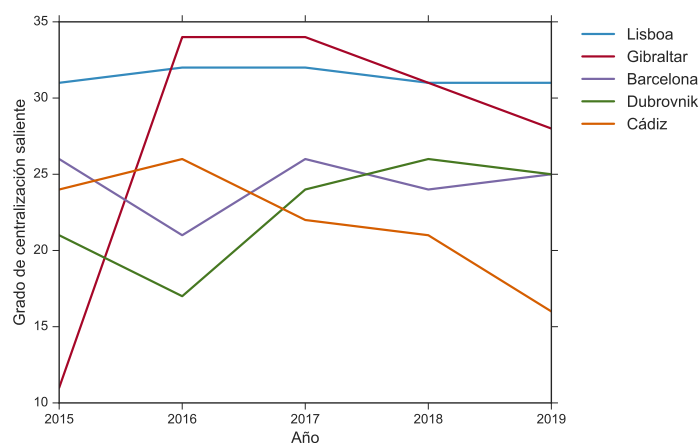


Figura 5.62. Grado de centralización saliente de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento *Premium*.

Tabla 5.25. Los 15 puertos con mayor grado de centralización entrante y su evolución durante los años de estudio para el segmento *Premium*.

Puerto	2015	2016	2017	2018	2019
Lisboa	27	30	26	26	26
Cádiz	25	26	26	26	23
Palma De Mallorca	26	22	26	20	24
Barcelona	24	21	21	25	23
Gibraltar	7	26	25	25	22
Funchal	20	21	21	22	20
Amsterdam	14	20	20	24	25
Dubrovnik	17	19	17	21	27
Málaga	14	20	18	22	22
Corfu	19	15	17	17	18
Miconos	20	19	17	12	12
Katákolo	12	13	17	15	15
Livorno	11	9	15	18	14
Thira - Santorini	26	2	2	15	18
Valencia	9	12	9	12	13

Tabla 5.26. Los 15 puertos con mayor grado de centralización saliente y su evolución durante los años de estudio para el segmento *Premium*.

Puerto	2015	2016	2017	2018	2019
Lisboa	31	32	32	31	31
Gibraltar	11	34	34	31	28
Barcelona	26	21	26	24	25
Dubrovnik	21	17	24	26	25
Cádiz	24	26	22	21	16
Palma De Mallorca	20	19	23	20	21
Funchal	23	21	19	17	19
Málaga	21	16	21	22	18
Miconos	25	15	20	17	11
Amsterdam	17	16	15	21	18
Corfu	17	18	13	15	16
Livorno	14	11	14	17	15
Thira - Santorini	24	4	2	19	18
Katákolo	11	16	15	9	10
Ibiza	8	12	16	14	9

Grado de intermediación. El grado de intermediación se muestra como parámetro especialmente efectivo para descubrir qué puertos son puntos de conexión entre distintas zonas, tal y como se ha hecho anteriormente. La figura 5.63 muestra los puertos con mayor grado de intermediación del segmento *premium*. Las tendencias que se pueden observar son varias: los cambios de Lisboa indican una tendencia decreciente en este tipo de parámetro y que este puerto está siendo superado por otros. Los grados de intermediación de Amsterdam, Gibraltar y Cádiz sí parecen indicar cierta predisposición a aumentar su grado de intermediación. Por último, el puerto de Dubrovnik parece haberse comportado de forma radicalmente contraria a Lisboa, pues en el año 2017 su grado de intermediación aumenta para mantenerse en ese punto hasta el final del estudio.

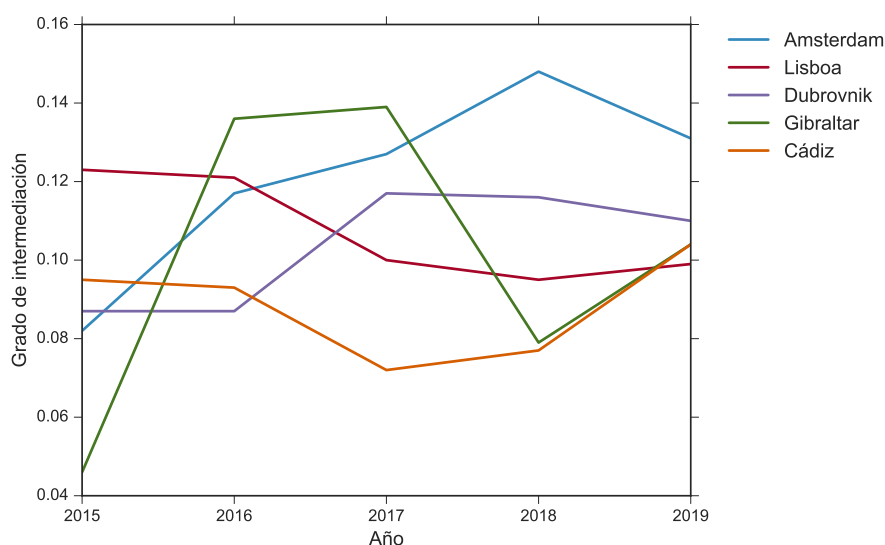
**Figura 5.63.** Grado de intermediación de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento *Premium*.

Tabla 5.27. Los 15 puertos con mayor grado de intermediación y su evolución durante los años de estudio para el segmento *Premium*.

Puerto	2015	2016	2017	2018	2019
Amsterdam	0,082	0,117	0,127	0,148	0,131
Lisboa	0,123	0,121	0,100	0,095	0,099
Dubrovnik	0,087	0,087	0,117	0,116	0,110
Gibraltar	0,046	0,136	0,139	0,079	0,104
Cádiz	0,095	0,093	0,072	0,077	0,104
Barcelona	0,107	0,059	0,075	0,063	0,072
Funchal	0,087	0,071	0,062	0,074	0,063
Miconos	0,087	0,092	0,088	0,044	0,035
Corfu	0,075	0,069	0,054	0,063	0,082
Palma De Mallorca	0,089	0,059	0,073	0,049	0,061
Southampton	0,054	0,063	0,098	0,061	0,031
Thira - Santorini	0,107	0,003	0,000	0,076	0,071
Katákolo	0,030	0,089	0,054	0,036	0,043
Málaga	0,041	0,048	0,040	0,057	0,050
Livorno	0,044	0,042	0,051	0,057	0,033

Índice Hub. El índice *hub* de los principales puertos con este parámetro se muestra en la figura 5.64. Este caso presenta un dominio absoluto de los puertos del Atlántico durante prácticamente todo el tiempo de estudio, concretamente los puertos de Southampton, Lisboa, Cádiz y Gibraltar. La aparición del puerto inglés como el más importante según el HACC es novedosa porque de Southampton no se tienen datos lo cual refleja aún más la importancia de dicho puerto. No obstante, la fuerte fluctuación en el índice *hub* que tiene este puerto se debe precisamente a la dependencia que tiene de los datos de otros puertos. Por último, recalcar que la tendencia seguida por el resto de los puertos principales es positiva. Esto último puede explicarse por dos posibles motivos: el primero es el aumento del volumen de tráfico que se observa en estos puertos. El segundo motivo puede deberse al aumento en la densidad de conexión entre estos puertos durante los años de estudio, elevando el HACC de cada uno individualmente (Tablas 5.23 y 5.24).

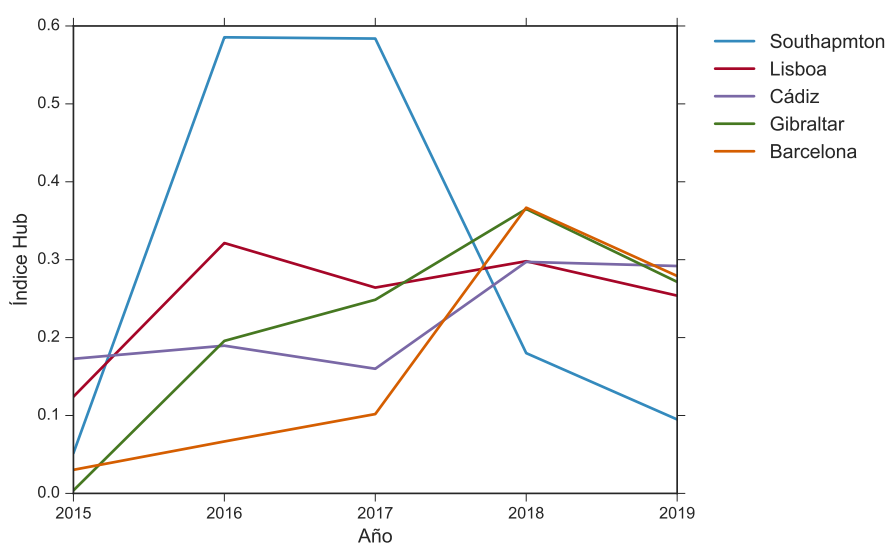
**Figura 5.64.** Índice *hub* de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento *Premium*.

Tabla 5.28. Los 15 puertos con mayor índice *hub* y su evolución durante los años de estudio para el segmento *Premium*.

Puerto	2015	2016	2017	2018	2019
Southampton	0,05170	0,58545	0,58383	0,18003	0,09491
Lisboa	0,12415	0,32137	0,26417	0,29802	0,25385
Cádiz	0,17275	0,18961	0,15999	0,29716	0,29187
Gibraltar	0,00381	0,19575	0,24858	0,36506	0,27151
Barcelona	0,03025	0,06665	0,10181	0,36678	0,27909
Palma De Mallorca	0,01177	0,04351	0,08480	0,26689	0,27213
Málaga	0,08258	0,06641	0,09523	0,14021	0,17045
Dubrovnik	0,29883	0,02343	0,01833	0,04015	0,03255
Arrecife De Lanzarote	0,00167	0,00479	0,35182	0,00432	0,00176
Las Palmas De Gran Canari	0,00014	0,33902	0,00020	0,00116	0,00042
Livorno	0,22088	0,01038	0,00842	0,03895	0,05514
Funchal	0,01289	0,08465	0,06443	0,06224	0,03716
Cartagena	0,00253	0,02578	0,04414	0,09404	0,05578
Miconos	0,18240	0,00390	0,00707	0,00252	0,00359
Thira - Santorini	0,13499	0,00009	0,00003	0,00375	0,00940

Grafos

Las tendencias que se han deducido en el apartado anterior se van a ver confirmadas con la representación de los siguientes grafos. En este apartado, al igual que en el mercado global va a describirse el papel de cada puerto en el mercado europeo de cruceros del segmento *premium* de forma más individual.

Amsterdam puede ser considerado uno de los puertos más importantes del Norte de Europa. A pesar de no poseer un elevado flujo de cruceros, el crecimiento de este parámetro en dicho puerto ha sido notable durante el tiempo de estudio. Amsterdam destaca por sus grados de centralidad e intermediación, ya que conecta el mar Báltico con el resto de la red interportuaria de cruceros. Este puerto ha tenido un crecimiento constante en ambos parámetros, pues durante el tiempo de estudio el número de puertos con los que se conecta ha ido aumentando tal y como se puede comprobar en los grafos y las medidas locales (Tablas 5.25 y 5.26).

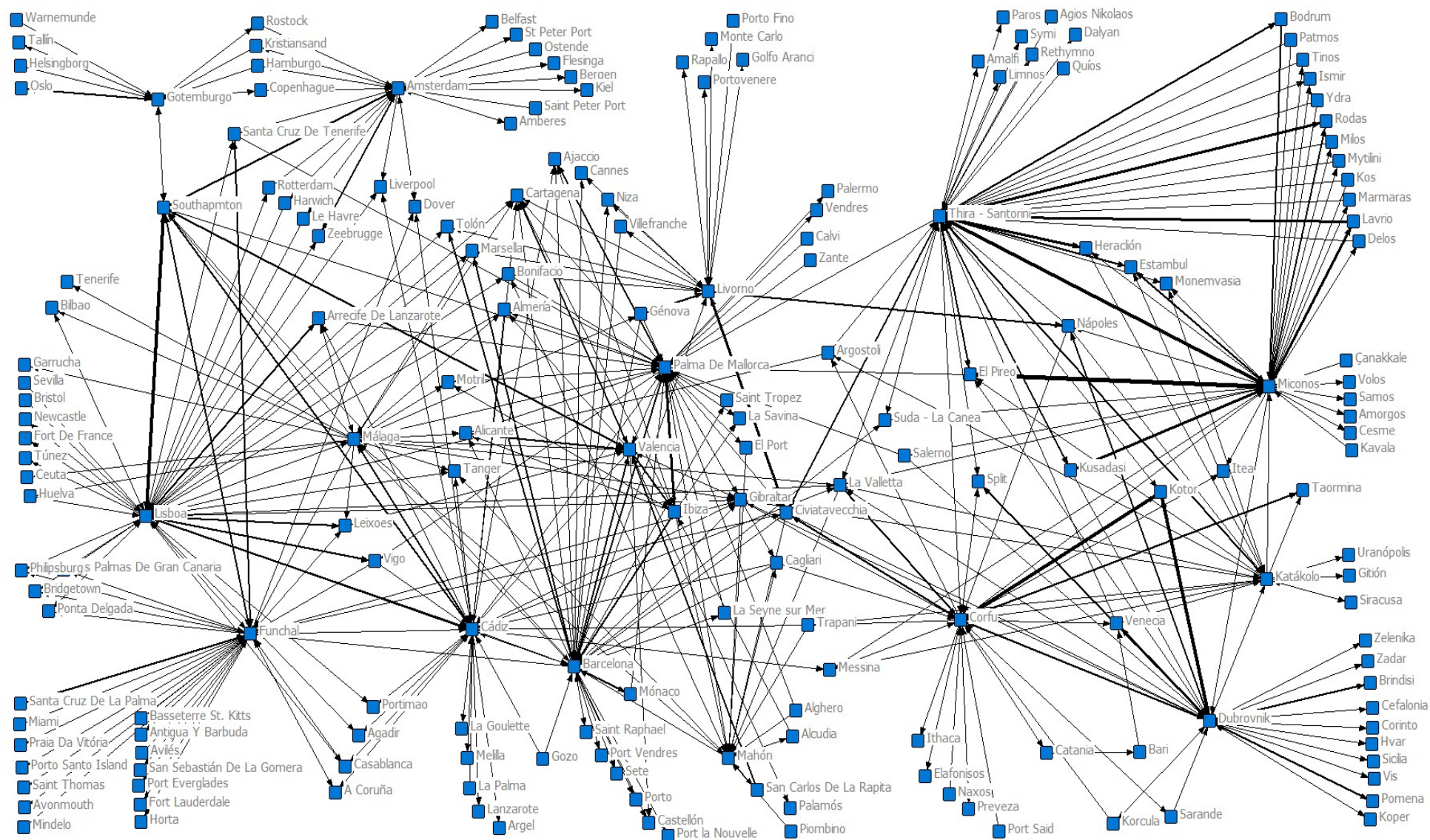
Southampton puede considerarse como uno de los puertos de cruceros más importantes a nivel europeo en el segmento *premium*. Los datos de este puerto no estaban disponibles, y por tanto los resultados obtenidos derivan de la información procedente de otros puertos (especialmente Gibraltar), lo que hace aún más llamativa la relevancia de Southampton en la red europea de cruceros del segmento *premium*. Este puerto destaca principalmente por su HACC, el cual se debe en parte al notable flujo de cruceros que recibe, y a las conexiones con Barcelona, Palma, Gibraltar, Lisboa, Málaga, Amsterdam y Gotemburgo. Los años 2016 y 2017 son las dos temporadas para las cuales se tienen los datos de algunos de los puertos canarios. Esto provoca que el HACC de Southampton se vea aumentado debido a la fuerte conexión que existen entre éstos. Cabe hacer una pequeña aclaración en este punto: los datos procedentes de los puertos canarios utilizados sí contienen el puerto anterior y posterior para casi todos los años, sin embargo el nombre del buque es desconocido excepto en algunos puertos durante los años 2016 y 2017. Por tanto si se ignora el nombre del crucero que realiza el viaje, se ignora también el segmento al que pertenece.

El papel que juegan los puertos de Lisboa y Gibraltar es similar al que realizan a nivel global. Ambos son puertos de transición que unen dos zonas, la capital lusa conecta el Norte de Europa con el Atlántico, mientras que Gibraltar hace lo propio con el Mediterráneo Occidental y el Atlántico. Por último, Cádiz al igual que antes cumple una función similar a la de Gibraltar, pero a menor escala y generalmente para puertos españoles.

Los puertos del Mediterráneo Occidental siguen teniendo un papel relevante, aunque no tanto como en el segmento *contemporary*. Barcelona y Palma siguen siendo dos de los puertos con mayor volumen de tráfico, aunque se puede decir que con ligera tendencia negativa por parte de Barcelona, y positiva en el caso del puerto balear (Tablas 5.23 y 5.24). Sendos puertos ocupan posiciones más relevantes si se considera el grado de centralidad debido al alto número de puertos con los que conectan. El grado de intermediación que poseen los puertos mediterráneos es menor que el de los Atlánticos. Esto refuerza la idea de que el segmento *premium* se encuentra más homogéneamente repartido entre el Norte Europa, Atlántico y Mediterráneo (Occidental especialmente) y que por tanto determinados puertos atlánticos tienen relevancia por ser de transición ya que conectan estas distintas partes. Por último, el índice *hub* revela la importancia de estos puertos mediterráneos, pues además de poseer HACC elevados este parámetro tiene tendencia positiva para Barcelona, Palma y Málaga (Tabla 5.28). Destacar que esta tendencia positiva de puertos atlánticos y del Mediterráneo Occidental indica un aumento de conexiones entre sendas zonas, lo cual se puede verificar en los grafos.

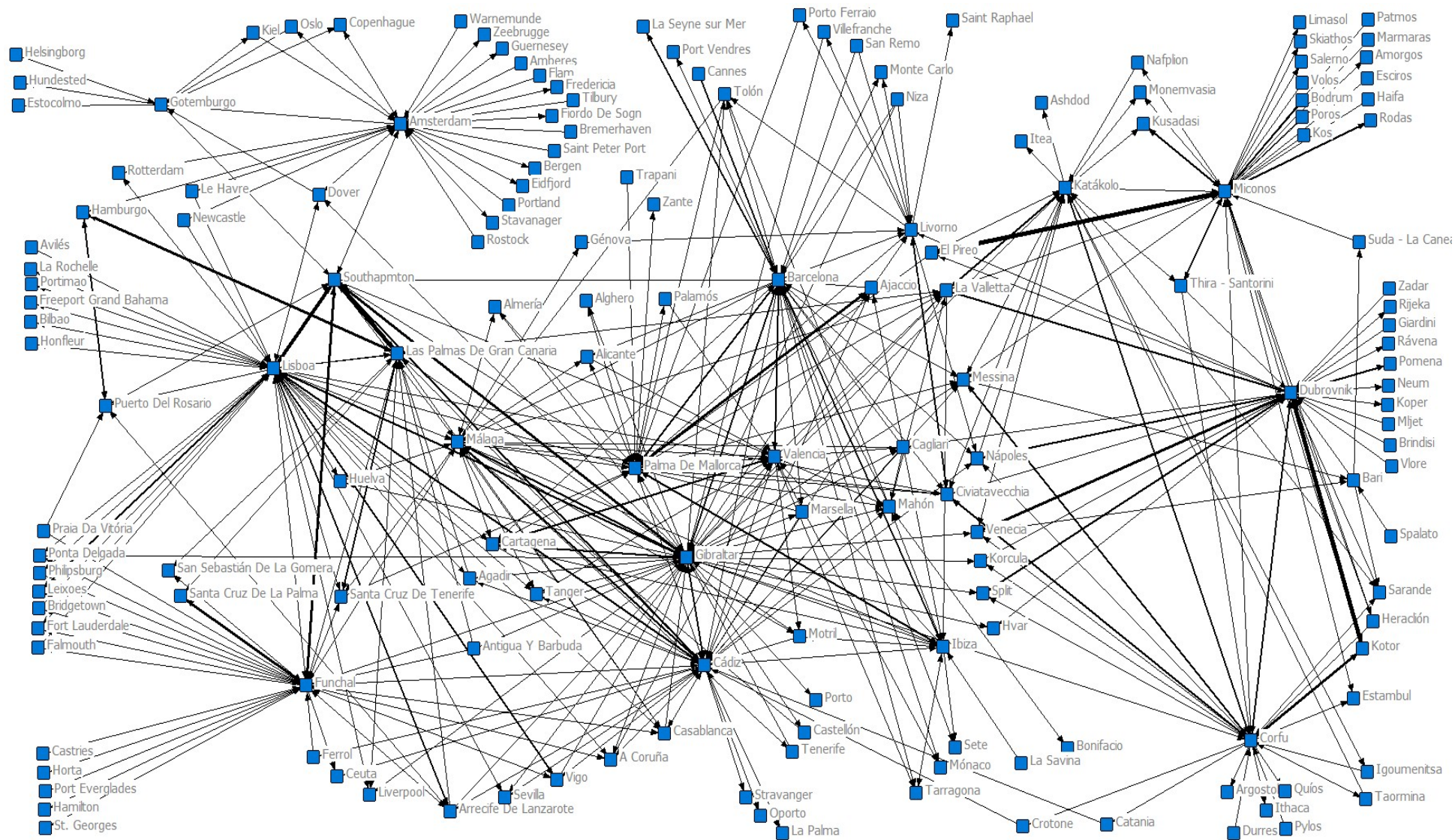
El Mediterráneo Oriental también posee cierta relevancia en términos del tráfico de cruceros, aunque la tendencia que sigue durante el tiempo de estudio parece negativa. Un ejemplo de esto es el descenso en la cantidad de cruceros que han visitado Miconos (Tabla 5.23). La evolución en el volumen de tráfico para el caso de Dubrovnik es similar al de Miconos, aunque de forma más atenuada. El grado de centralización e intermediación muestran lo que se ha visto anteriormente, que esta región es una zona de destino y no tanto de tránsito. A pesar de esto, Dubrovnik y Miconos tienen unos grados de centralización e intermediación considerables debido a los numerosos puertos más pequeños con los que conectan. El índice *hub* de estos puertos, al igual que antes, muestra un descenso durante los años 2016 y 2017, pues gran parte de las conexiones que aporta Santorini no están. Los últimos años cabría esperar una recuperación significativa, sin embargo no se llega a los niveles previos debido a la creciente importancia que otorga este parámetro a puertos atlánticos y mediterráneos (occidental), ya que al ser un parámetro normalizado el valor para un puerto depende de los del resto. El aumento de relaciones entre el Mediterráneo Occidental y el Atlántico no se da en esta zona, lo cual remarca aún más la condición de esta región como zona de destino y explica la importancia cada vez mayor que el HACC otorga a esos puertos.

Los puertos de transición que conectan el Mediterráneo con el Atlántico parecen haber sido incluidos en una red atlántica-mediterránea. Sin embargo, los puertos que conectan esta última zona con el norte de Europa, siguen siendo Lisboa, Southampton y en algunos años puertos como Funchal o Santa Cruz de Tenerife, además de puertos menores como Dover, Le Havre, Zeebrugge, etc. La cantidad de puertos de transición indica la importancia que tiene el tráfico de cruceros *premium* en el Norte de Europa. Por otra parte, los puertos que conectaban las dos zonas del Mediterráneo en los segmentos anteriores siguen haciendo lo propio para este segmento, como por ejemplo, Nápoles, La Valleta o Civitavecchia. Las dos conclusiones que pueden deducirse de esto son: en primer lugar el aumento de puertos que registran tráfico de naviera *premium*, como por ejemplo: Messina, Cagliari, Catania, entre otros. En segundo lugar, las conexiones de puertos orientales directamente con otros occidentales, o incluso atlánticos como Gibraltar. Todo lo anterior señala que la diversidad portuaria de este segmento es mayor que la de los anteriores, y que además los itinerarios no son tan ajustados como en el caso del segmento *Contemporary* y *Budget*.



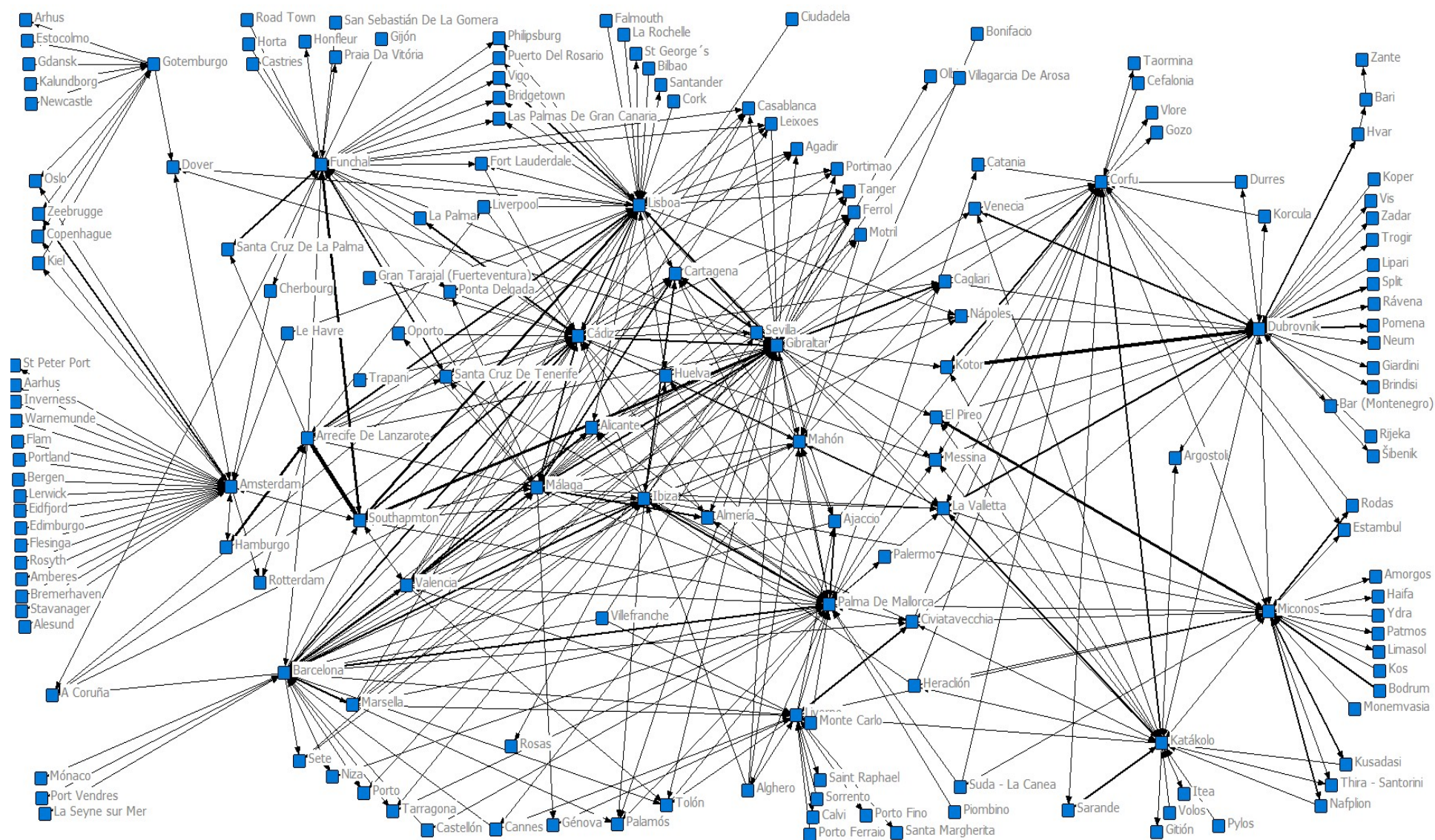
Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.65. Grafo del tráfico de cruceros del segmento *Premium* en el año 2015



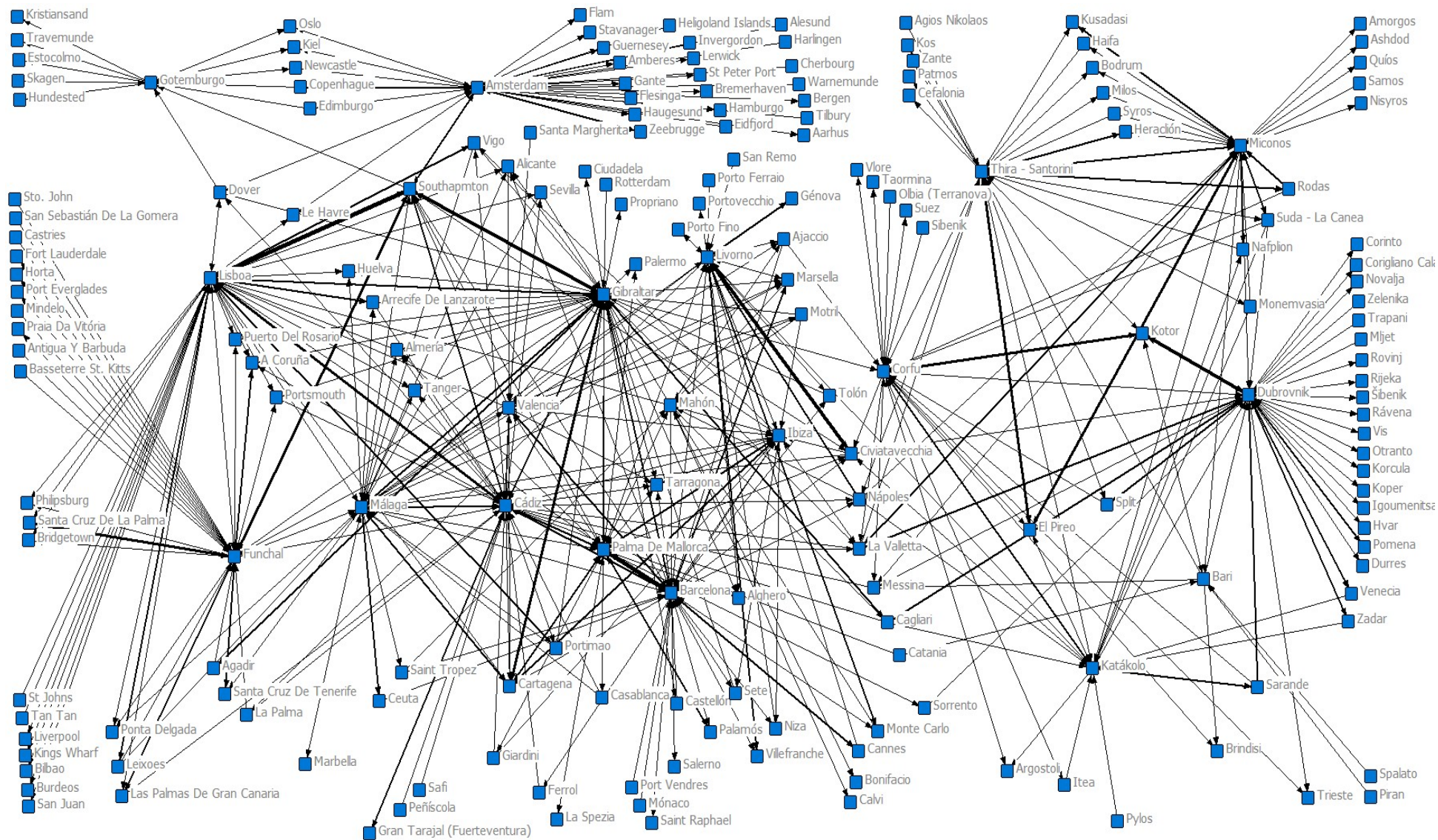
Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.66. Grafo del tráfico de cruceros del segmento *Premium* en el año 2016



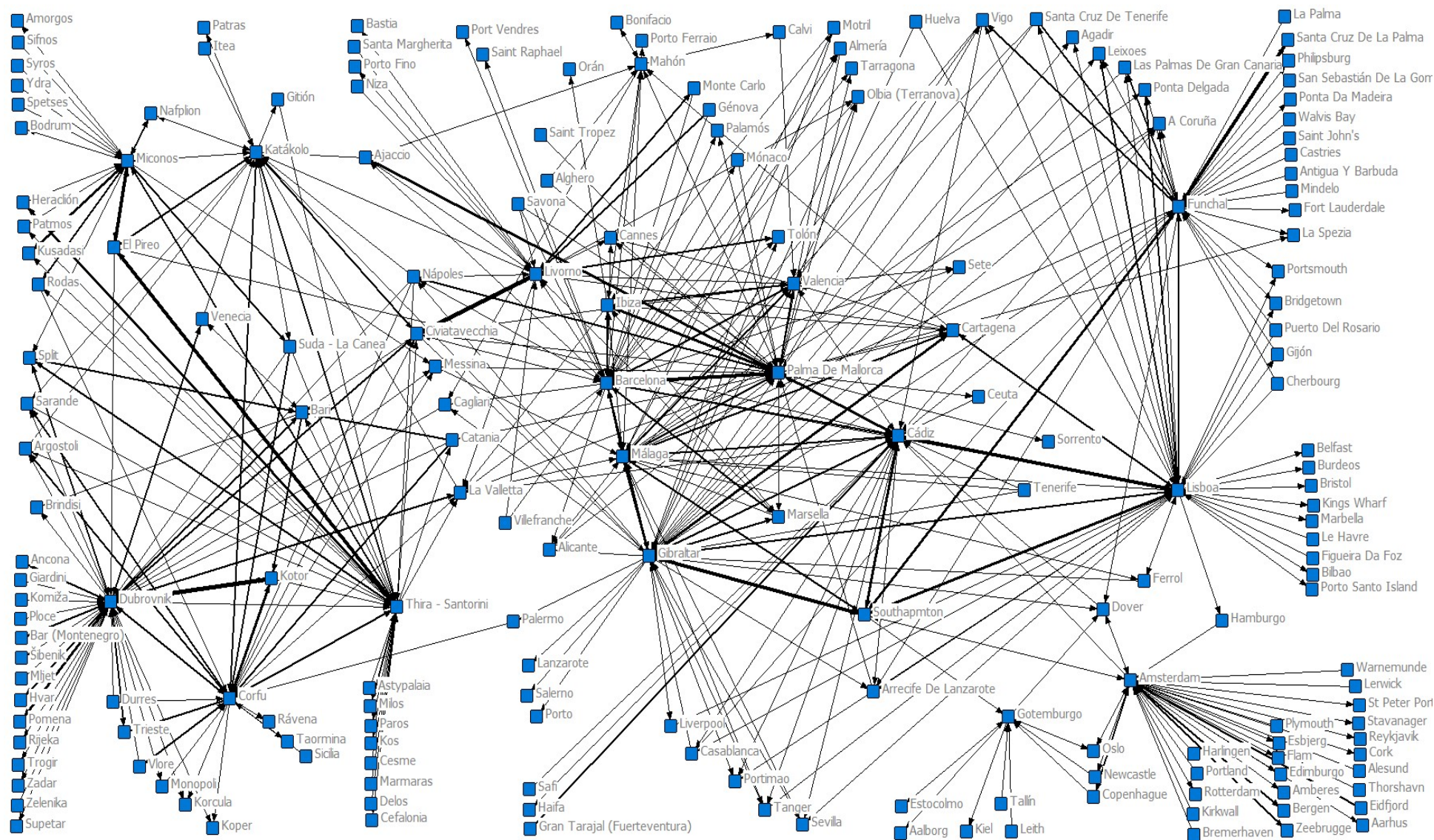
Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.67. Grafo del tráfico de cruceros del segmento *Premium* en el año 2017



Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.68. Grafo del tráfico de cruceros del segmento *Premium* en el año 2018



Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.69. Grafo del tráfico de cruceros del segmento *Premium* en el año 2019

5.1.5. Segmento *Upper premium*

Resultados globales.

Los resultados que se muestran a continuación pueden parecer distintos que los presentados en segmentos anteriores. Esto es debido a la pequeña cantidad de buques que pertenecen al segmento *upper premium*, concretamente seis, todos ellos pertenecientes a la naviera *Oceania Cruises*, lo que explica el bajo número de nodos y conexiones en la red (Figura 5.70a). El segmento *upper premium* oferta cruceros superiores a todas las anteriores en lo que a lujo se refiere. La densidad que tiene este segmento del mercado de cruceros se ha mantenido estable durante el tiempo de estudio (Figura 5.70b). Por último, comentar que el crecimiento excepcional que se produce en el número de conexiones, puede ser debido a causas ajenas como el hecho de que haya puertos importantes que faltan para 2015 (Gibraltar).

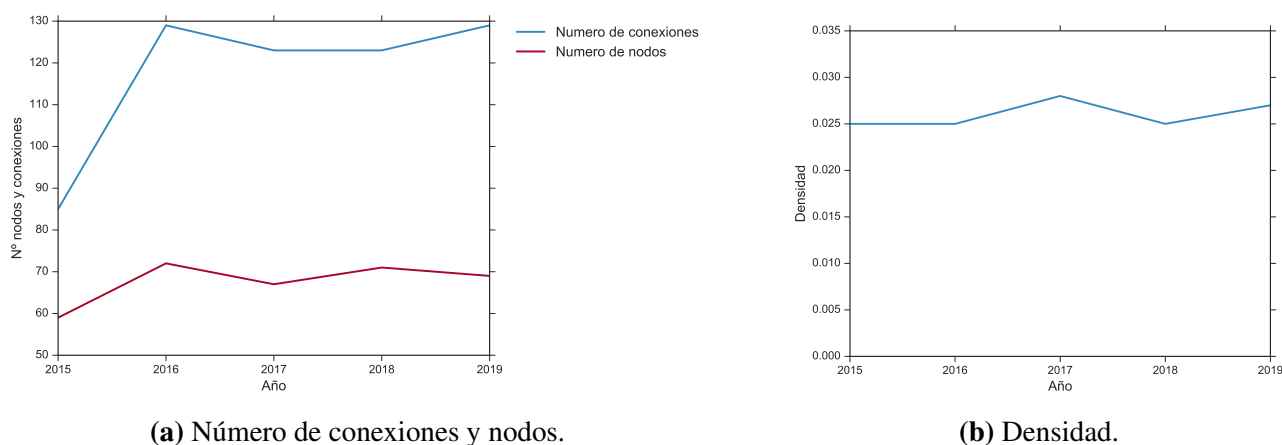


Figura 5.70. Métricas globales del mercado de cruceros europeo del segmento *upper premium*.

El grado de centralización por el contrario sí ha tenido fluctuaciones notables en el tiempo de estudio. Esto puede ser debido a que el bajo número de cruceros hace que los pequeños cambios existentes entre dos años produzcan alteraciones significativas en los parámetros de la red. No obstante, todo lo anterior va a estudiarse más profundamente con las métricas locales.

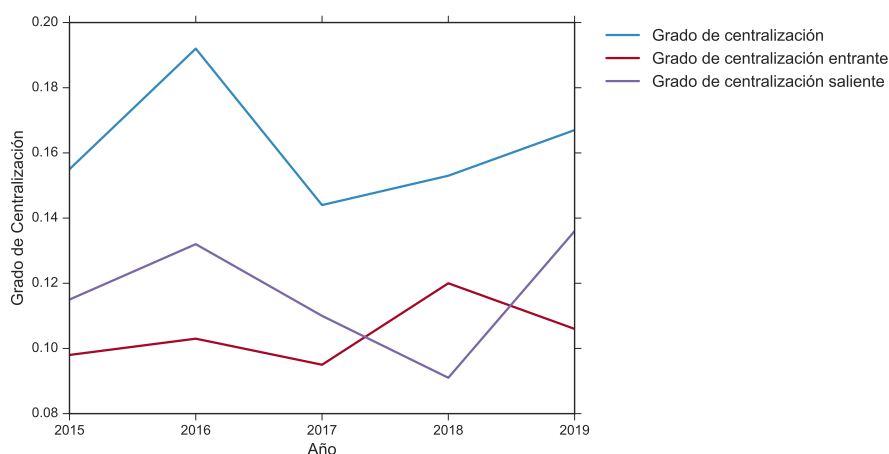


Figura 5.71. Grado de centralización global, saliente y entrante para el segmento *upper premium*.

Resultados locales.

La pequeña cantidad de cruceros que tiene este segmento no se puede ver como un inconveniente, más bien al contrario, pues brinda una oportunidad para estudiar de forma más aislada e individual las dinámicas subyacentes en el mercado de cruceros.

Flujo iniciado y recibido. La figura 5.72 muestra los cinco primeros puertos con mayor flujo iniciado del mercado europeo de cruceros en el segmento *Upper premium*, mientras que la 5.73 muestra los puertos con mayores flujos recibido. El tráfico de cruceros de este segmento parece presentar un dominio claro de los puertos procedentes del Mediterráneo Occidental, aunque no de forma tan marcada como en el caso del segmento *contemporary*. La tendencia que han seguido los principales puertos ha sido positiva, exceptuando algunas bajadas en el año 2018 por parte de Lisboa y Barcelona.

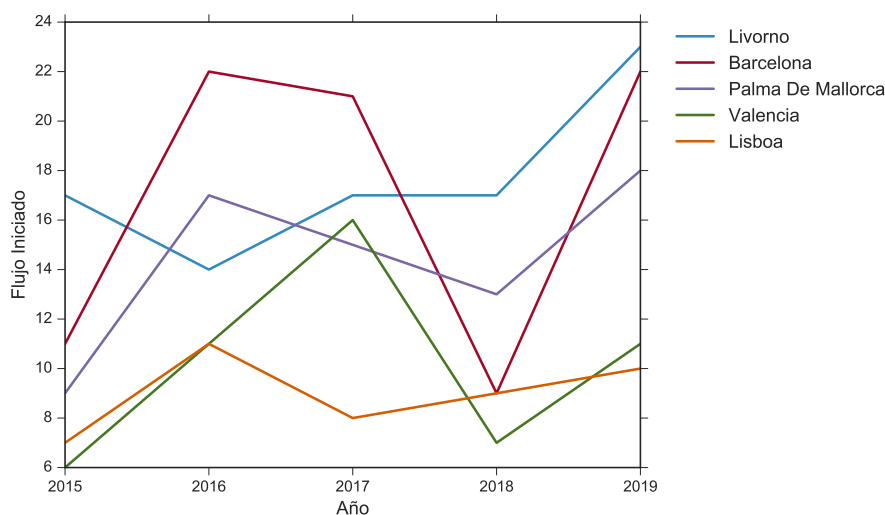


Figura 5.72. Flujo iniciado del mercado europeo de cruceros para los puertos más relevantes del segmento *Upper premium*.

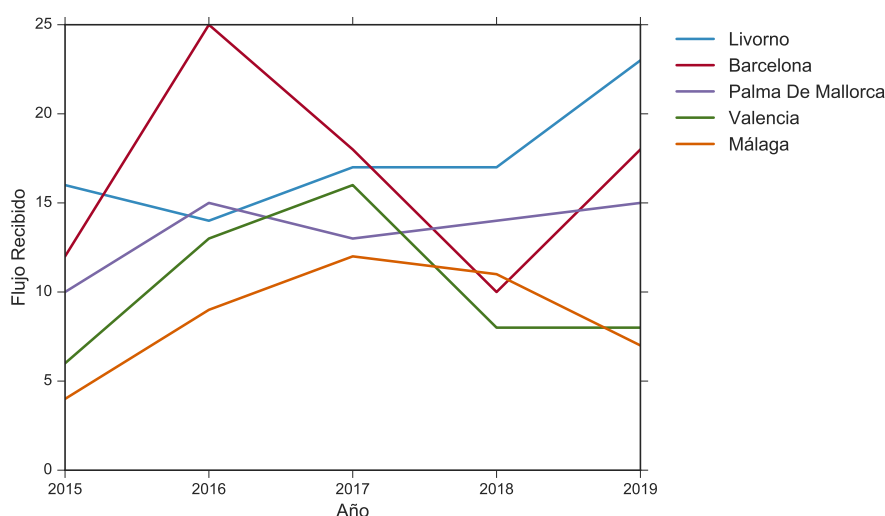


Figura 5.73. Flujo recibido del mercado europeo de cruceros para los puertos más relevantes del segmento *Upper premium*.

Tabla 5.29. Los 15 puertos con más tráfico iniciado y su evolución durante los años de estudio para el segmento *Upper premium*.

Puerto	2015	2016	2017	2018	2019
Livorno	17	14	17	17	23
Barcelona	11	22	21	9	22
Palma De Mallorca	9	17	15	13	18
Valencia	6	11	16	7	11
Lisboa	7	11	8	9	10
Málaga	4	9	12	10	6
Cádiz	4	12	10	6	8
Dubrovnik	2	5	4	10	12
Corfu	2	11	7	4	9
Kotor	2	6	3	8	11
Civiatavecchia	6	4	6	5	9
Marsella	6	10	6	2	5
Amsterdam	7	6	5	4	2
Ibiza	1	6	11	2	4
Thira - Santorini	5	1	1	9	6

Tabla 5.30. Los 15 puertos con más tráfico recibido y su evolución durante los años de estudio para el segmento *Upper premium*.

Puerto	2015	2016	2017	2018	2019
Livorno	16	14	17	17	23
Barcelona	12	25	18	10	18
Palma De Mallorca	10	15	13	14	15
Valencia	6	13	16	8	8
Málaga	4	9	12	11	7
Civiatavecchia	7	7	10	8	11
Lisboa	6	11	9	8	9
Cádiz	4	11	11	5	8
Corfu	1	11	7	5	10
Dubrovnik	2	5	4	10	12
Marsella	5	8	5	3	7
Thira - Santorini	5	3	2	8	5
Ibiza	1	6	11	1	4
Kotor	1	4	7	5	5
Cartagena	4	7	6	0	5

Grado de centralidad entrante y saliente. Las figuras 5.74 y 5.75 muestran los puertos con mayores grados de centralización entrante y saliente respectivamente. Los puertos más relevantes siguen siendo del Mediterráneo Occidental lo cual da una idea aproximada de la distribución en el tráfico de cruceros del segmento *Upper premium*. No obstante, en mercados tan reducidos como el que se está tratando ahora una variación de tan sólo la conexión con dos puertos más o menos entre un año y otro puede marcar mucha diferencia.

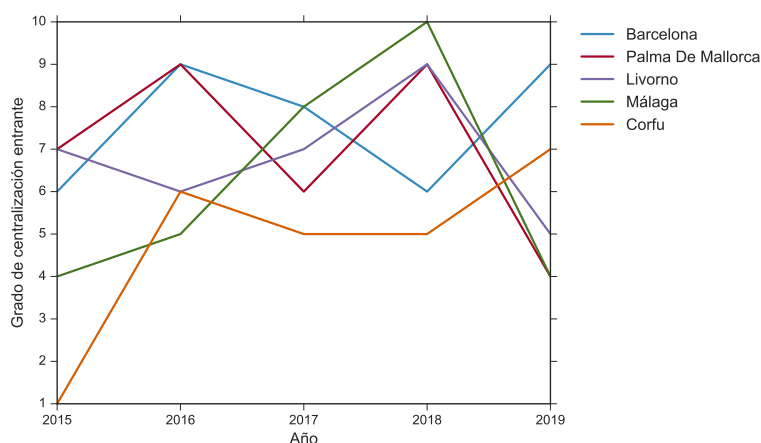


Figura 5.74. Grado de centralización entrante de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento *Upper premium*.

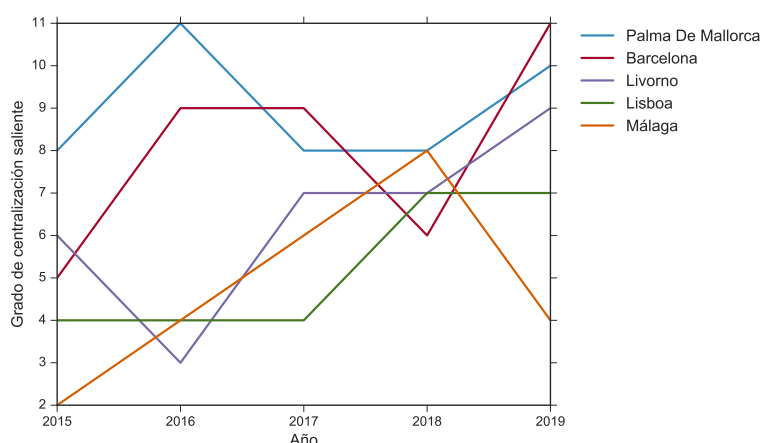


Figura 5.75. Grado de centralización saliente de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento *Upper premium*.

Tabla 5.31. Los 15 puertos con mayor grado de centralización entrante y su evolución durante los años de estudio para el segmento *Upper premium*.

Puerto	2015	2016	2017	2018	2019
Barcelona	6	9	8	6	9
Palma De Mallorca	7	9	6	9	4
Livorno	7	6	7	9	5
Málaga	4	5	8	10	4
Corfu	1	6	5	5	7
Lisboa	5	4	3	5	6
Cádiz	2	6	6	3	5
Valencia	3	4	3	5	5
Funchal	4	5	4	3	2
Gibraltar	1	5	5	3	2
Ibiza	1	5	7	1	2
Amsterdam	4	3	3	3	2
Dubrovnik	1	3	3	3	5
Thira - Santorini	3	2	2	6	2
Miconos	2	5	2	3	2

Tabla 5.32. Los 15 puertos con mayor grado de centralización saliente y su evolución durante los años de estudio para el segmento *Upper remium*.

Puerto	2015	2016	2017	2018	2019
Palma De Mallorca	8	11	8	8	10
Barcelona	5	9	9	6	11
Livorno	6	3	7	7	9
Lisboa	4	4	4	7	7
Málaga	2	4	6	8	4
Amsterdam	4	5	5	4	2
Funchal	5	7	4	3	1
Cádiz	2	4	5	4	5
Corfu	2	5	4	2	5
Thira - Santorini	4	1	1	7	5
Dubrovnik	2	4	2	5	5
Valencia	3	3	5	3	3
Ibiza	1	4	6	2	4
Miconos	1	4	4	2	3
Gibraltar	2	5	4	2	1

Grado de intermediación. El pequeño número de cruceros con los que se ha realizado este análisis propicia la fluctuación de los parámetros locales (Figura 5.76). Al igual que antes el grado de intermediación se muestra como parámetro especialmente efectivo para descubrir qué puertos son puntos de conexión entre distintas zonas. Los resultados de las medidas locales anteriores muestran el predominio de los puertos del Mediterráneo Occidental como los más sobresalientes en términos de volumen y grado de centralización, por tanto cabe esperar que los puertos de esta región sean también notables si se considera el grado de intermediación.

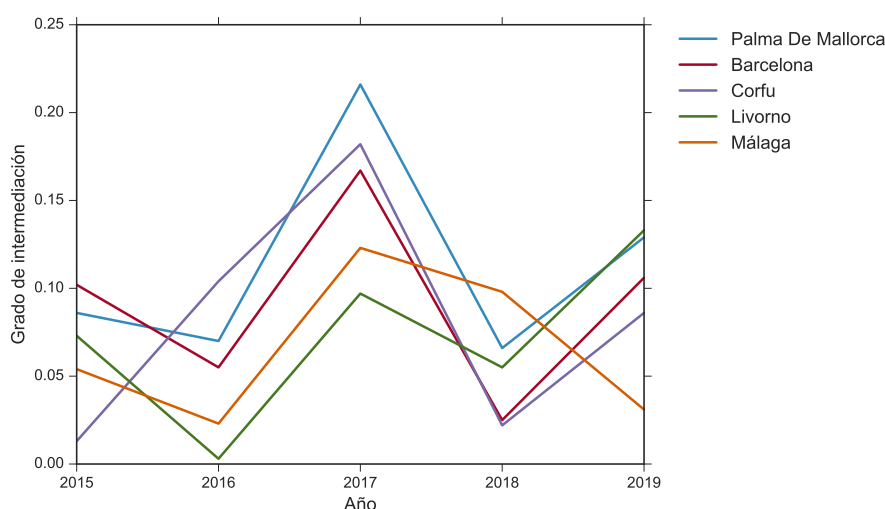
**Figura 5.76.** Grado de intermediación de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento *Upper premium*.

Tabla 5.33. Los 15 puertos con mayor grado de intermediación y su evolución durante los años de estudio para el segmento *Upper premium*.

Puerto	2015	2016	2017	2018	2019
Palma De Mallorca	0,086	0,070	0,216	0,066	0,129
Barcelona	0,102	0,055	0,167	0,025	0,106
Corfu	0,013	0,104	0,182	0,022	0,086
Livorno	0,073	0,003	0,097	0,055	0,133
Málaga	0,054	0,023	0,123	0,098	0,031
Cádiz	0,024	0,023	0,065	0,042	0,123
Lisboa	0,042	0,017	0,032	0,043	0,079
Taormina	0,000	0,084	0,037	0,006	0,071
La Valletta	0,000	0,000	0,174	0,000	0,000
Kotor	0,008	0,056	0,048	0,014	0,039
Funchal	0,047	0,040	0,039	0,018	0,007
Valencia	0,026	0,000	0,015	0,005	0,089
Ibiza	0,005	0,011	0,102	0,000	0,015
Gibraltar	0,034	0,028	0,041	0,006	0,011
Mahón	0,000	0,086	0,010	0,006	0,015

Índice hub. El índice *hub* de los principales puertos con este parámetro se muestra en la figura 5.77. Este caso, al igual que antes presenta un dominio absoluto de los puertos del Mediterráneo Occidental durante prácticamente todo el tiempo de estudio. No obstante, muestra dos partes distintas y relacionadas de esta región: por un lado se encuentra la parte Oeste de la que se destacan Valencia, Palma y Barcelona; mientras que en segundo lugar se tienen Livorno y Civitavecchia. El HACC es un parámetro normalizado, por lo que el aumento de esta medida en algunos puertos implica el descenso de la misma en otros. Esto anterior es lo que ocurre en este caso: el descenso en este parámetro de puertos como Civitavecchia y Livorno viene acompañado del aumento observado en Barcelona, Valencia o Palma, y viceversa. Esto anterior muestra la distinción entre las dos zonas más importantes en el mercado de cruceros del segmento *upper premium*.

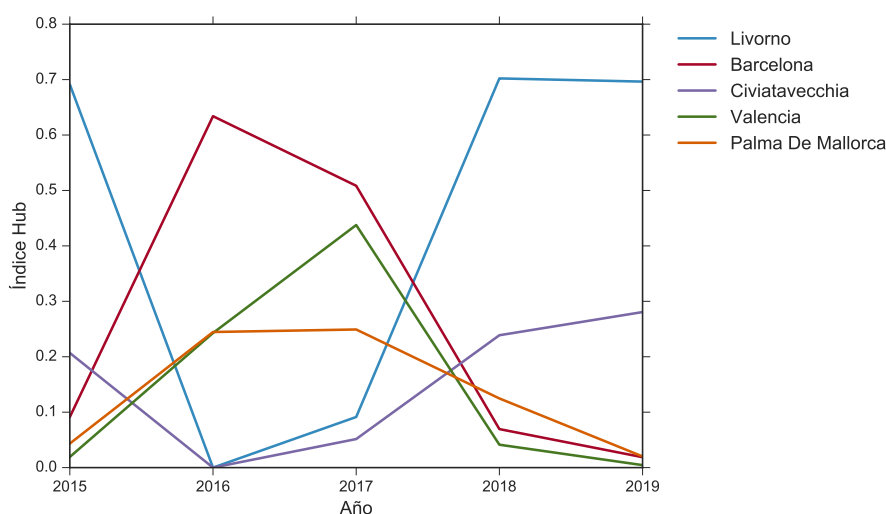
**Figura 5.77.** Índice *hub* de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento *Upper premium*.

Tabla 5.34. Los 15 puertos con mayor índice *hub* y su evolución durante los años de estudio para el segmento *Upper premium*.

Puerto	2015	2016	2017	2018	2019
Livorno	0,69127	0,00000	0,09132	0,70212	0,69639
Barcelona	0,09129	0,63399	0,50842	0,06949	0,01879
Civitaavecchia	0,20687	0,00000	0,05152	0,23880	0,28062
Valencia	0,01928	0,24283	0,43760	0,04131	0,00450
Palma De Mallorca	0,04339	0,24462	0,24918	0,12477	0,02018
Ibiza	0,00069	0,04291	0,20156	0,00159	0,00200
Marsella	0,03778	0,13819	0,05272	0,01254	0,00309
Monte Carlo	0,10197	0,00000	0,00206	0,03003	0,04730
Málaga	0,00126	0,04517	0,07390	0,03008	0,00099
Ajaccio	0,00000	0,00000	0,00000	0,03967	0,04597
Alicante	0,00000	0,01387	0,04923	0,01112	0,00053
Cádiz	0,00674	0,03984	0,02226	0,00454	0,00077
Cartagena	0,00277	0,03715	0,02708	0,00000	0,00045
Lisboa	0,00555	0,03385	0,00767	0,00403	0,00021
Porto Fino	0,00000	0,00000	0,00433	0,02880	0,00465

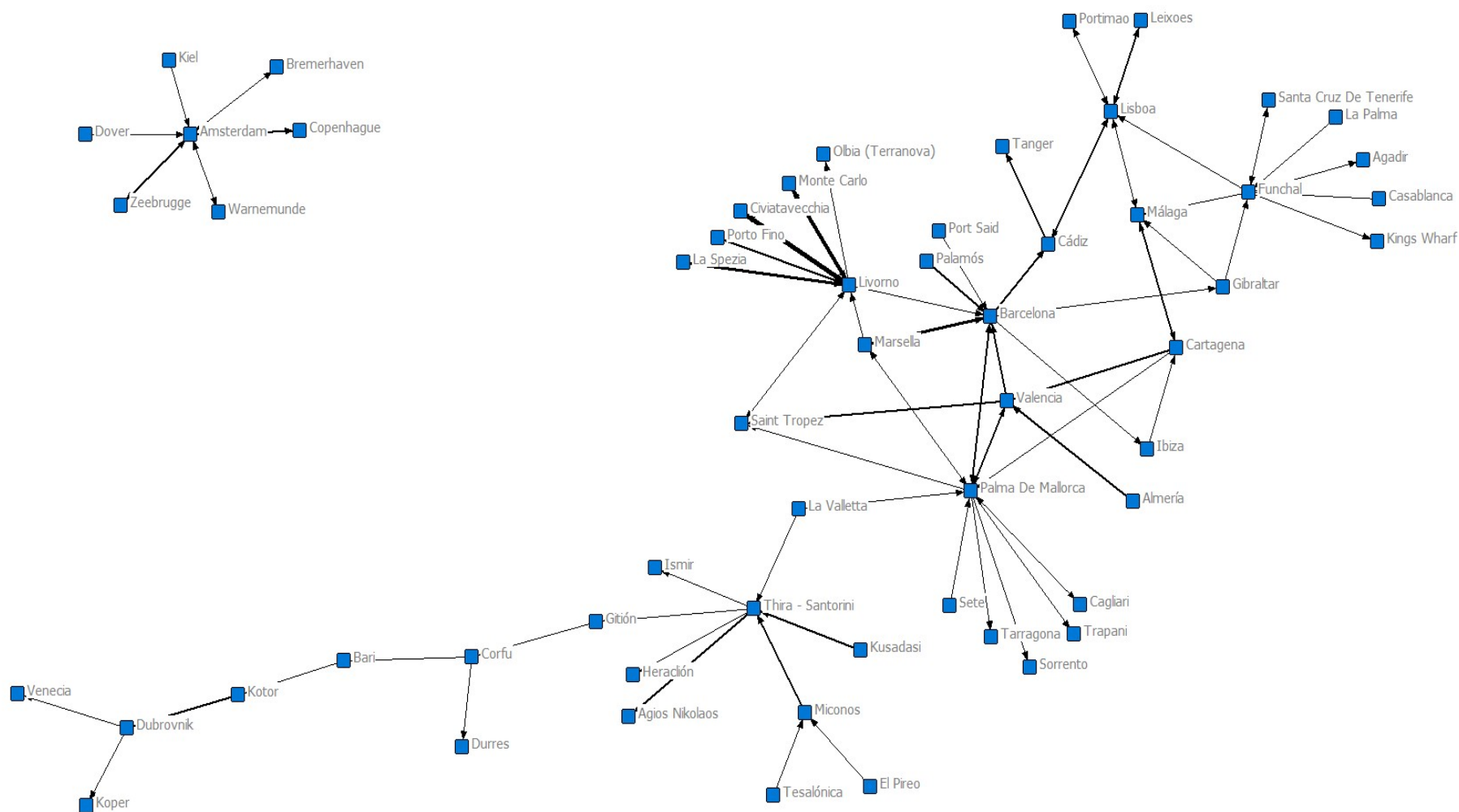
Grafos.

El Mediterráneo Occidental es la zona europea, entre las que se han estudiado, donde mayor es la actividad de los cruceros pertenecientes al segmento *upper premium*, no sólo se demuestra con los parámetros locales, sino también se puede observar en los grafos siguientes. Por lo general el puerto central sobre el que se desarrolla el resto del tráfico es Barcelona, pero en 2018 éste se ve ligeramente desplazado por Palma. La cantidad de cruceros que circula sufre un pequeño descenso generalizado en el 2018 (Figura 5.72). En términos generales este año es el más atípico de todos, pues el Mediterráneo Occidental no se encuentra conectado con el Oriental.

Los grafos muestran el progresivo desarrollo del Mediterráneo Oriental, pues para 2015 esta zona apenas podía considerarse red, sino más bien un itinerario (Figura 5.78). Durante el tiempo de estudio, la red del tráfico de cruceros para el segmento *upper premium* ha ido ganando en complejidad. Corfu es uno de los puertos más destacado en los grafos pues se presenta como uno de los más centrales, junto con Dubrovnik y Santorini, aunque éstos en la última parte del estudio.

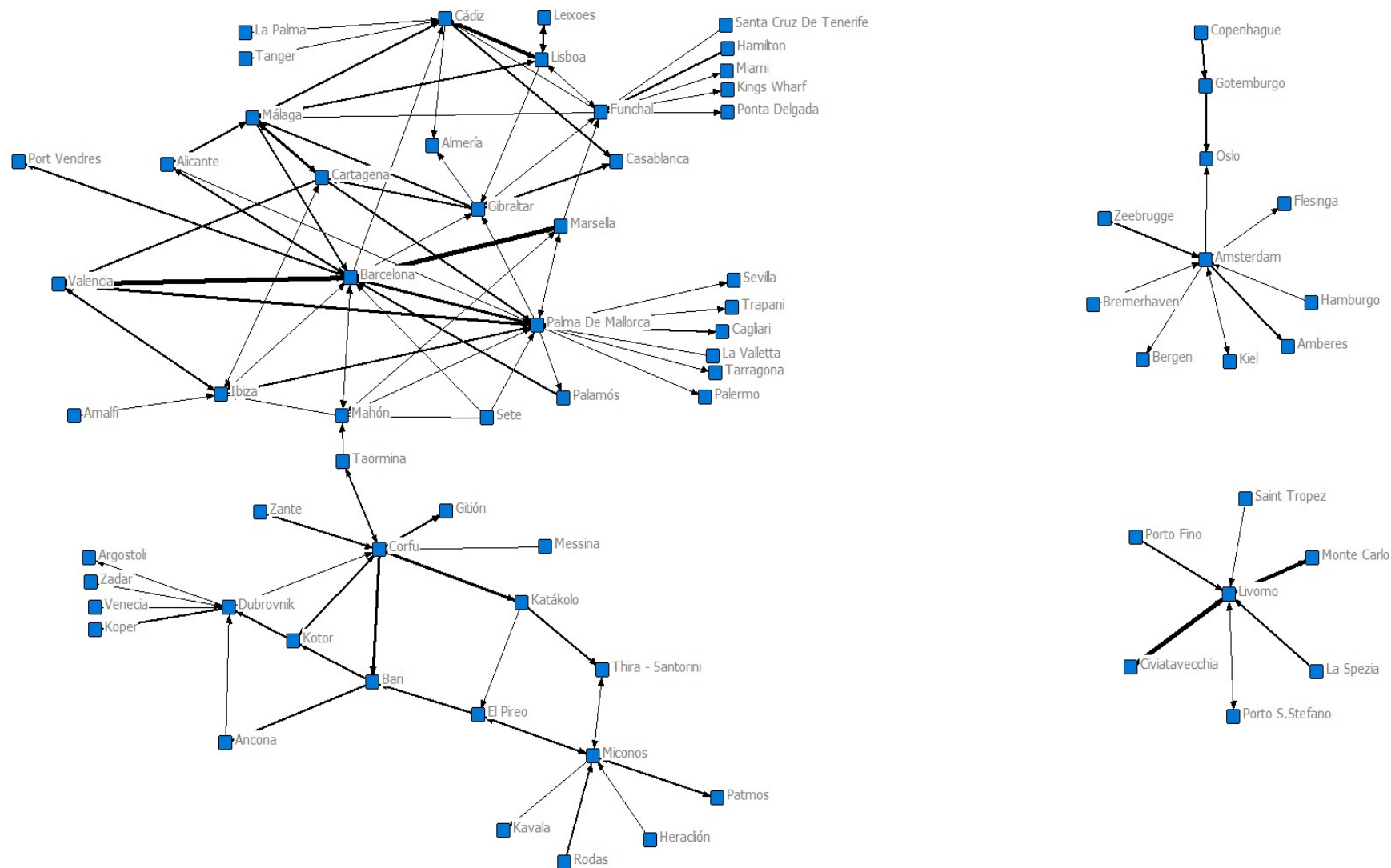
El Norte de Europa se constituye como zona aislada en el tráfico de cruceros pertenecientes al segmento *upper premium*. Esto apunta y remarca en primer lugar la importancia del Mediterráneo Occidental en este tipo de tráfico, y por otro lado la falta de datos, especialmente en el Norte de Europa.

Los puertos de transición en este caso cobran especial relevancia, pues debido al escaso tráfico son esenciales para unir zonas geográficas. El más destacado es La Valleta, aunque el año 2016 destaca Taormina como puerto de transición, o en el año 2019, momento en que sendos puertos aparecen como conectores entre el Mediterráneo Occidental y el Oriental.



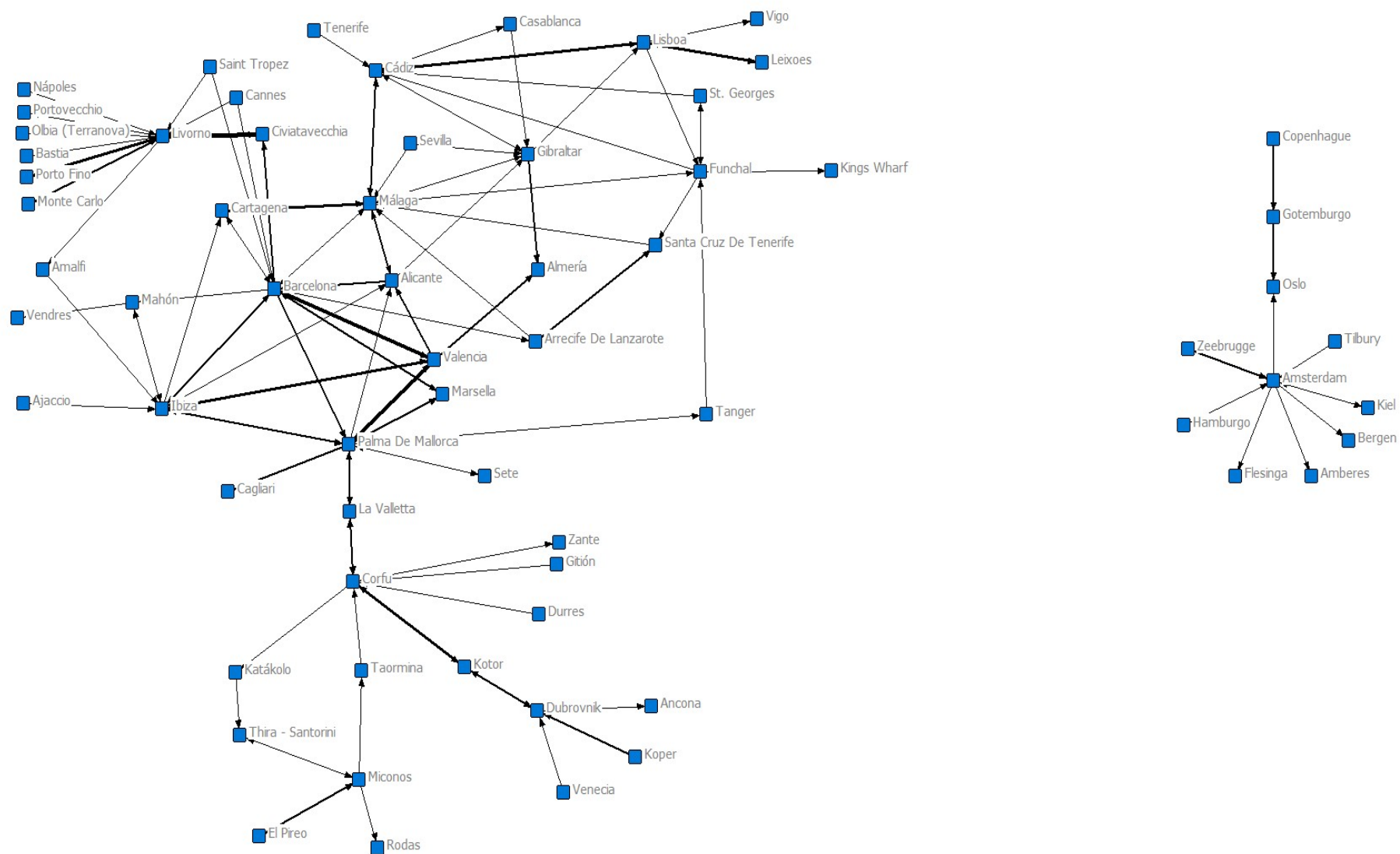
Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.78. Grafo del tráfico de cruceros del segmento *Upper premium* en el año 2015



Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.79. Grafo del tráfico de cruceros del segmento *Upper premium* en el año 2016



Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.80. Grafo del tráfico de cruceros del segmento *Upper premium* en el año 2017

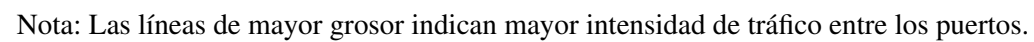
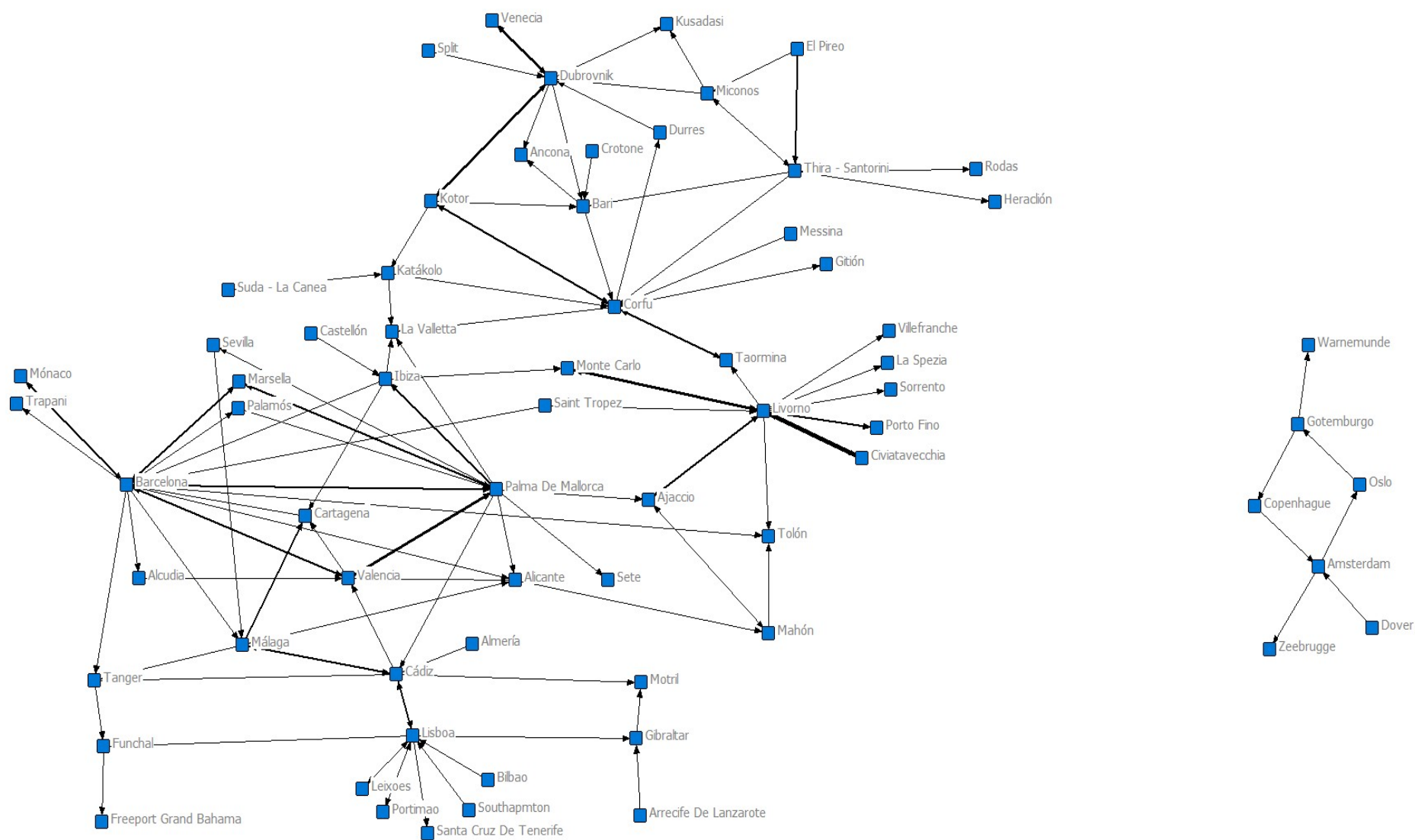


Figura 5.81. Grafo del tráfico de cruceros del segmento *Upper premium* en el año 2018



Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.82. Grafo del tráfico de cruceros del segmento *Upper premium* en el año 2019

5.1.6. Segmento Lujo.

Resultados globales.

Los resultados de las métricas globales que se obtienen para el segmento de lujo se muestran a continuación. El número de nodos y conexiones presenta tendencia positiva, a pesar del ligero descenso ocurrido en 2019. El aumento de sendos parámetros ha sido proporcional, pues la densidad apenas ha variado en el tiempo de estudio (Figuras 5.83a y 5.83b).

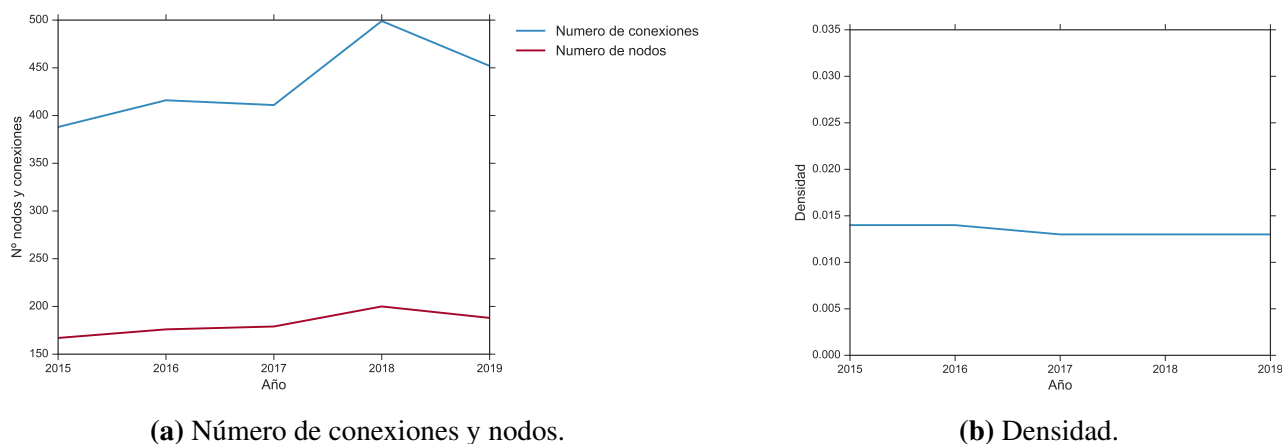


Figura 5.83. Métricas globales del mercado de cruceros europeo del segmento de lujo.

El grado de centralidad presenta una tendencia claramente negativa. Esto se explica por las características propias del segmento de lujo. Los itinerarios que presentan los buques pertenecientes a esta clase no son tan ajustados como en el caso de los segmentos anteriores. La exclusividad de estos cruceros hace posible que determinados puertos base masificados por el tráfico de personas sean prescindibles y sustituibles por otros más selectos o de características diferentes a las convencionales. Es por esto que la centralidad en este segmento se encuentre cada vez más repartida. Además, como se verá en el índice *hub* posteriormente, no puede establecerse un puerto como importante, debido a todo lo anterior.

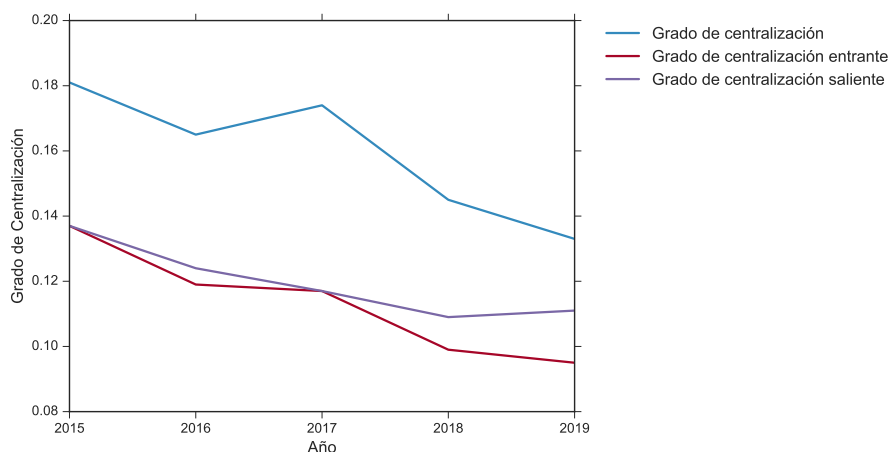


Figura 5.84. Grado de centralización global, saliente y entrante para el segmento de lujo.

Resultados locales.

Flujo iniciado y recibido. El tráfico de cruceros de este segmento parece presentar un dominio claro de los puertos del Mediterráneo, no obstante destacan ligeramente dos por encima del resto: Dubrovnik y Livorno. En términos generales los cinco primeros puertos tienen cierta tendencia positiva, excepto Dubrovnik que se puede considerar neutra, tanto para el flujo iniciado como para el recibido (Figuras 5.85 y 5.86).

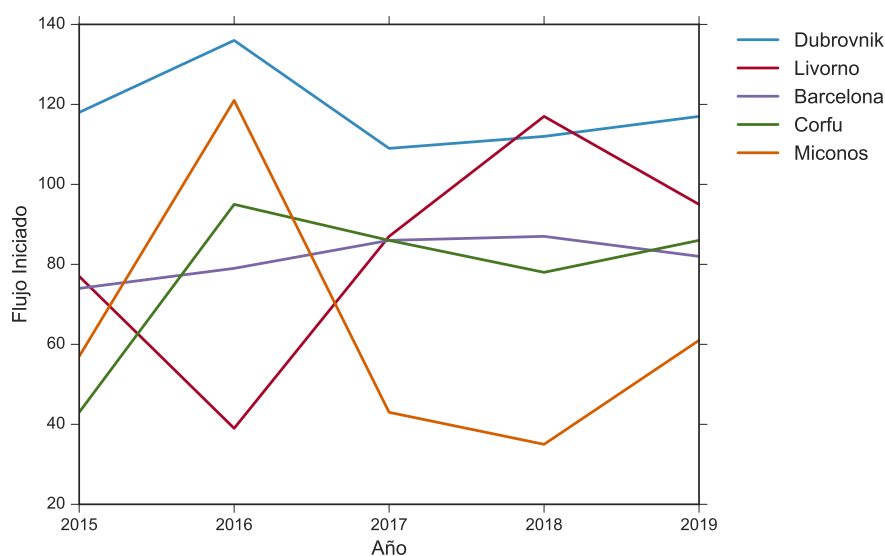


Figura 5.85. Flujo iniciado del mercado europeo de cruceros para los puertos más relevantes del segmento de lujo.

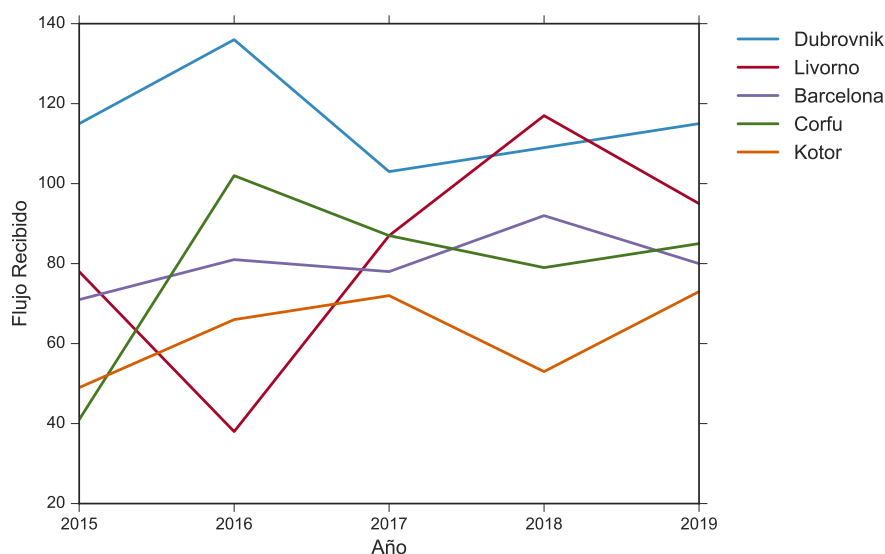


Figura 5.86. Flujo recibido del mercado europeo de cruceros para los puertos más relevantes del segmento de lujo.

Tabla 5.35. Los 15 puertos con más tráfico iniciado y su evolución durante los años de estudio para el segmento de lujo.

Puerto	2015	2016	2017	2018	2019
Dubrovnik	118	136	109	112	117
Livorno	77	39	87	117	95
Barcelona	74	79	86	87	82
Corfu	43	95	86	78	86
Miconos	57	121	43	35	61
Valencia	43	68	66	40	48
Kotor	45	55	46	45	68
Málaga	31	39	40	62	72
Lisboa	33	37	51	58	47
Palma De Mallorca	38	37	47	53	49
Cádiz	24	25	41	59	57
Thira - Santorini	64	6	5	33	59
Ibiza	25	22	22	42	24
Gibraltar	7	27	27	35	36
Mahón	28	22	19	30	30

Tabla 5.36. Los 15 puertos con más tráfico recibido y su evolución durante los años de estudio para el segmento de lujo.

Puerto	2015	2016	2017	2018	2019
Dubrovnik	115	136	103	109	115
Livorno	78	38	87	117	95
Barcelona	71	81	78	92	80
Corfu	41	102	87	79	85
Kotor	49	66	72	53	73
Miconos	60	121	42	32	58
Valencia	49	74	71	45	45
Málaga	32	39	43	64	72
Palma De Mallorca	38	42	49	53	55
Lisboa	31	37	53	54	50
Cádiz	21	29	44	58	59
Thira - Santorini	70	5	5	33	54
Civiatavecchia	28	7	28	46	29
Mahón	26	22	21	33	30
Gibraltar	6	25	27	36	35

Grado de centralidad entrante y saliente. Los puertos más relevantes siguen siendo del Mediterráneo lo cual da una idea aproximada de la distribución en el tráfico de cruceros del segmento, pero esta vez los dos más relevantes son Barcelona y Palma. En términos generales puede decirse que la tendencia es positiva para los puertos de Barcelona, Corfú, Málaga, Livorno y Lisboa. Por otro lado, Dubrovnik y Miconos muestran una tendencia claramente negativa, lo que presenta a los puertos del Mediterráneo Oriental como menos centrales dentro de la red europea de cruceros de los segmentos más exclusivos, tal y como se veía también para los cruceros *upper premium* (Figuras 5.87 y 5.88).

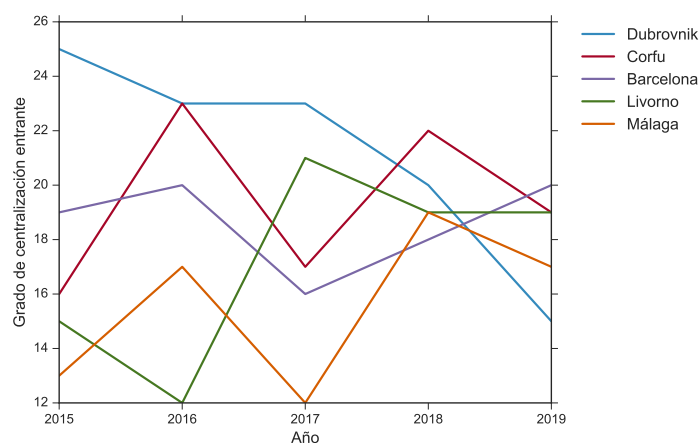


Figura 5.87. Grado de centralización entrante de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento de lujo.

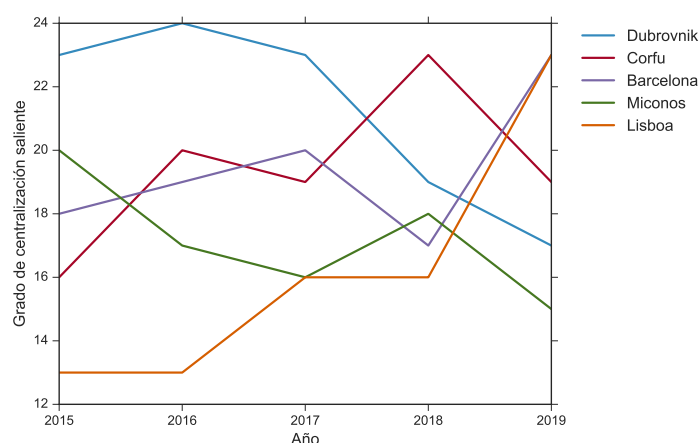


Figura 5.88. Grado de centralización saliente de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento de lujo.

Tabla 5.37. Los 15 puertos con mayor grado de centralización entrante y su evolución durante los años de estudio para el segmento de Lujo.

Puerto	2015	2016	2017	2018	2019
Dubrovnik	25	23	23	20	15
Corfu	16	23	17	22	19
Barcelona	19	20	16	18	20
Livorno	15	12	21	19	19
Málaga	13	17	12	19	17
Miconos	19	16	15	15	13
Palma De Mallorca	10	14	16	19	15
Lisboa	11	14	14	18	16
Funchal	14	9	16	12	9
Amsterdam	9	13	10	15	12
Mahón	10	9	11	13	14
Ibiza	9	11	11	16	10
Cádiz	9	13	12	11	10
Gibraltar	5	13	12	10	15
Valencia	10	10	8	12	11

Tabla 5.38. Los 15 puertos con mayor grado de centralización saliente y su evolución durante los años de estudio para el segmento de Lujo.

Puerto	2015	2016	2017	2018	2019
Dubrovnik	23	24	23	19	17
Corfu	16	20	19	23	19
Barcelona	18	19	20	17	23
Miconos	20	17	16	18	15
Lisboa	13	13	16	16	23
Málaga	14	12	12	24	17
Palma De Mallorca	12	12	16	18	17
Funchal	13	15	13	15	15
Livorno	13	13	12	17	16
Amsterdam	10	13	10	16	15
Thira - Santorini	25	4	2	15	15
Cádiz	10	8	12	17	13
Mahón	13	14	7	15	11
Valencia	7	10	11	17	12
Ibiza	8	10	7	17	11

Grado de intermediación. El grado de intermediación se muestra como parámetro especialmente efectivo para descubrir qué puertos son puntos de conexión entre distintas zonas. Los resultados obtenidos para los puertos más importantes revelan lo que se venía advirtiendo antes, el descenso de importancia de algunos puertos orientales como Dubrovnik. No obstante, otros como Miconos se han mantenido constantes en lo referente a su grado de intermediación. El aumento de importancia presentado anteriormente en los puertos del Mediterráneo Occidental se sigue observando también en este parámetro, siendo el caso más claro el de Livorno (Figura 5.89).

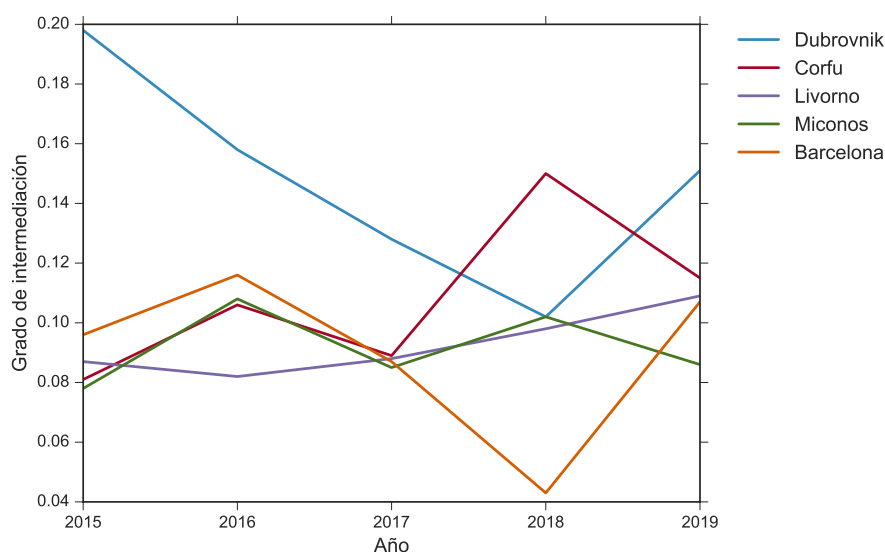
**Figura 5.89.** Grado de intermediación de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento de Lujo.

Tabla 5.39. Los 15 puertos con mayor grado de intermediación y su evolución durante los años de estudio para el segmento de Lujo.

Puerto	2015	2016	2017	2018	2019
Dubrovnik	0,198	0,158	0,128	0,102	0,151
Corfu	0,081	0,106	0,089	0,150	0,115
Livorno	0,087	0,082	0,088	0,098	0,109
Miconos	0,078	0,108	0,085	0,102	0,086
Barcelona	0,096	0,116	0,087	0,043	0,107
Lisboa	0,079	0,091	0,083	0,083	0,089
Amsterdam	0,039	0,118	0,004	0,138	0,094
Málaga	0,096	0,081	0,027	0,093	0,062
Funchal	0,076	0,073	0,056	0,055	0,051
Palma De Mallorca	0,048	0,049	0,053	0,076	0,054
Thira - Santorini	0,147	0,001	0,001	0,036	0,087
Cádiz	0,067	0,041	0,052	0,037	0,030
Katákolo	0,002	0,042	0,024	0,035	0,059
Ibiza	0,023	0,028	0,011	0,050	0,038
Mahón	0,033	0,035	0,025	0,025	0,026

Índice *hub*. El índice *hub* de los principales puertos con este parámetro se muestra muy variable durante el tiempo de estudio (Figura 5.90). No obstante, la elevada fluctuación que presenta este parámetro se debe a que los itinerarios en este segmento se encuentran menos ajustados. Esto implica que puertos relevantes en un año no lo sean o se vean superados por otros al año siguiente. Además, este parámetro al estar normalizado esto se aprecia mejor, pues un elevado HACC en un puerto, implica que el del resto sea menor, y viceversa. A pesar de todas las fluctuaciones, sí se dan puertos relevantes, aunque su tendencia es difícil de analizar en este parámetro debido a las oscilaciones antes mencionadas.

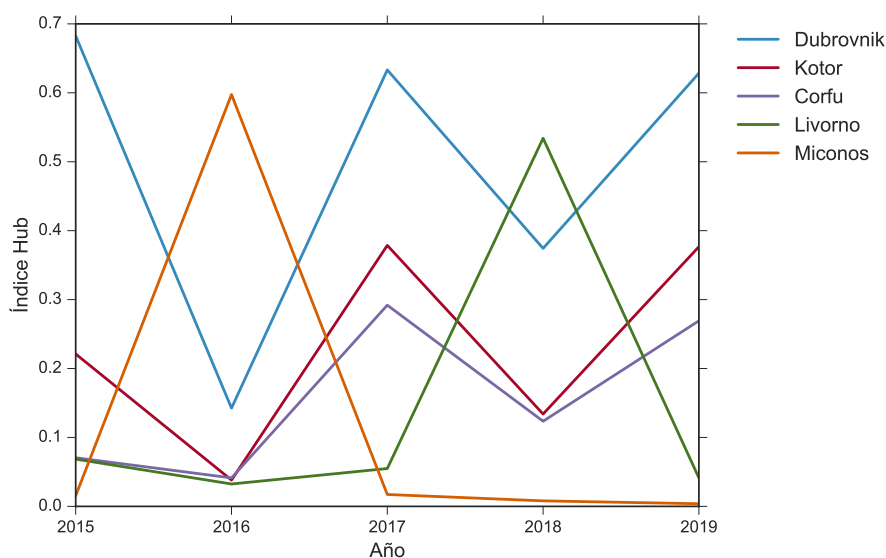
**Figura 5.90.** Índice *hub* de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento de lujo.

Tabla 5.40. Los 15 puertos con índice *hub* y su evolución durante los años de estudio para el segmento de Lujo.

Puerto	2015	2016	2017	2018	2019
Dubrovnik	0,68260	0,14250	0,63322	0,37425	0,62846
Kotor	0,22109	0,03816	0,37866	0,13395	0,37666
Corfu	0,07053	0,04128	0,29190	0,12350	0,26919
Livorno	0,06854	0,03248	0,05490	0,53406	0,04130
Miconos	0,01549	0,59749	0,01725	0,00799	0,00383
Civiatavecchia	0,01590	0,00060	0,00854	0,13019	0,00477
Barcelona	0,01257	0,00365	0,04316	0,06583	0,00362
Lisboa	0,01068	0,02098	0,01415	0,05669	0,00336
Split	0,00438	0,00195	0,01269	0,01852	0,06600
Cádiz	0,00512	0,00849	0,01195	0,05577	0,00769
Málaga	0,00430	0,00952	0,00820	0,05385	0,01196
Korcula	0,03496	0,00569	0,02125	0,00966	0,00522
Valencia	0,00268	0,00305	0,03182	0,02116	0,00179
Thira - Santorini	0,03318	0,00111	0,00049	0,00442	0,01479
Katákoló	0,00064	0,01424	0,01456	0,00527	0,01534

Grafos.

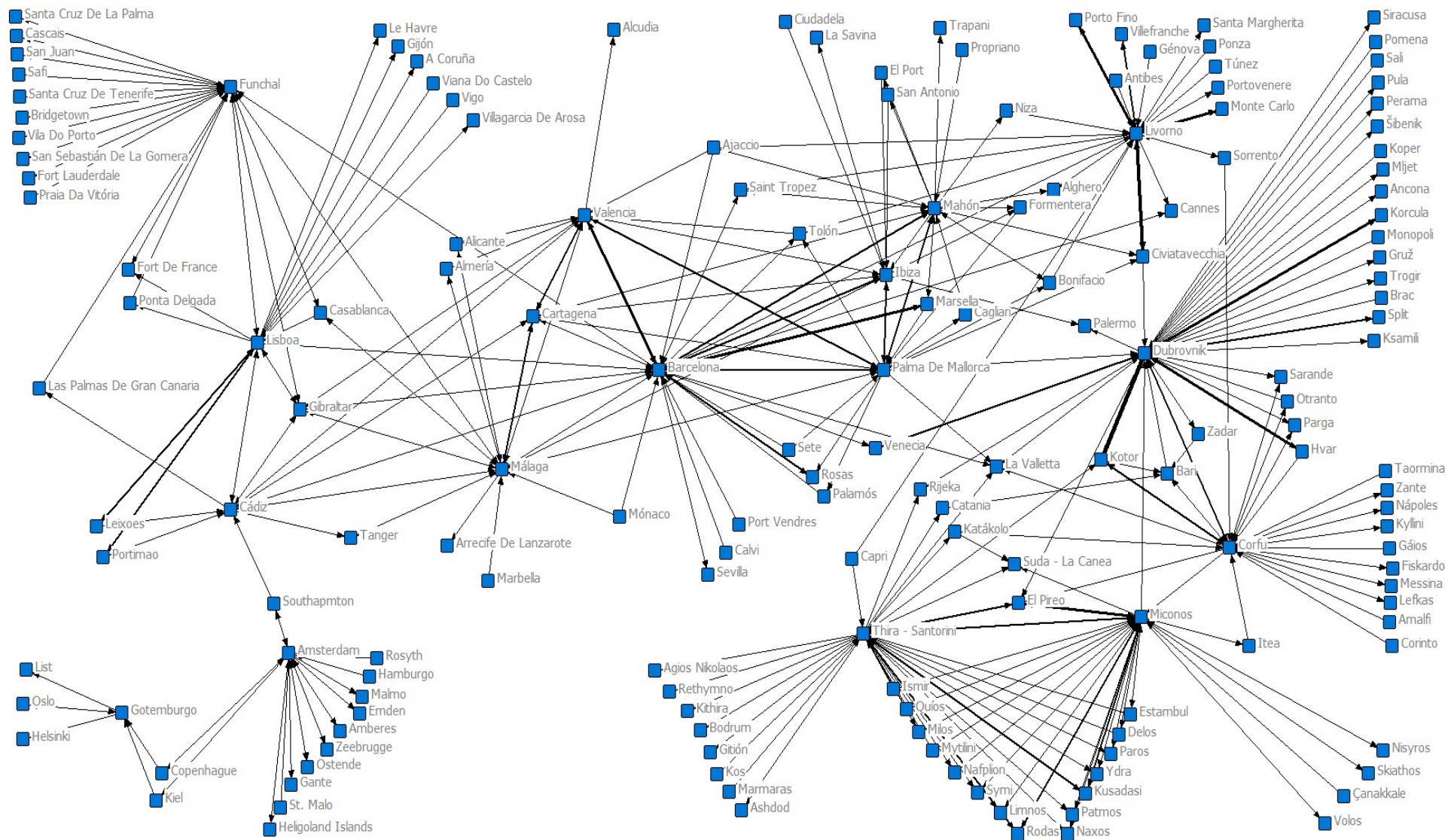
El Mediterráneo Oriental presenta cierta tendencia negativa, y a pesar de ello, varios de los puertos más destacados proceden de esa zona. El Mediterráneo Oriental ha presentado dos subregiones características donde el tráfico de cruceros es especialmente intenso, y los puertos más importantes de sendas zonas son: Dubrovnik, Corfu y Kotor por un lado, mientras que en segundo lugar se tiene al trío de puertos griegos Santorini, Miconos y El Pireo.

Los puertos de Dubrovnik, Corfu y Kotor presentan una conexión intensa y la relación entre éstos no ha cesado de aumentar, tal y como muestran las tablas 5.35 y 5.36 para el puerto de Kotor, ya que para éste no se tienen datos y su información proviene tan sólo de aquellos puertos con los que conecta (Dubrovnik y Corfu en este caso). El grado de intermediación de estos tres puertos se puede decir que se ha mantenido constante en términos globales. Es cierto que Dubrovnik ha perdido grado de centralidad considerablemente, pero Corfu lo ha ido aumentando.

Los otros tres puertos importantes del Mediterráneo Oriental ya se han tratado anteriormente donde se explican una de las causas del descenso de importancia en la red para los años 2016 y 2017 (falta de datos). Sin embargo, en este caso parece que la importancia de este sector del Mediterráneo Oriental sí que disminuye su actividad y no por falta de datos, pues la evolución del grado de centralidad para Miconos tiene tendencia negativa, a pesar de que para este puerto se tiene la información de todo el tiempo de estudio.

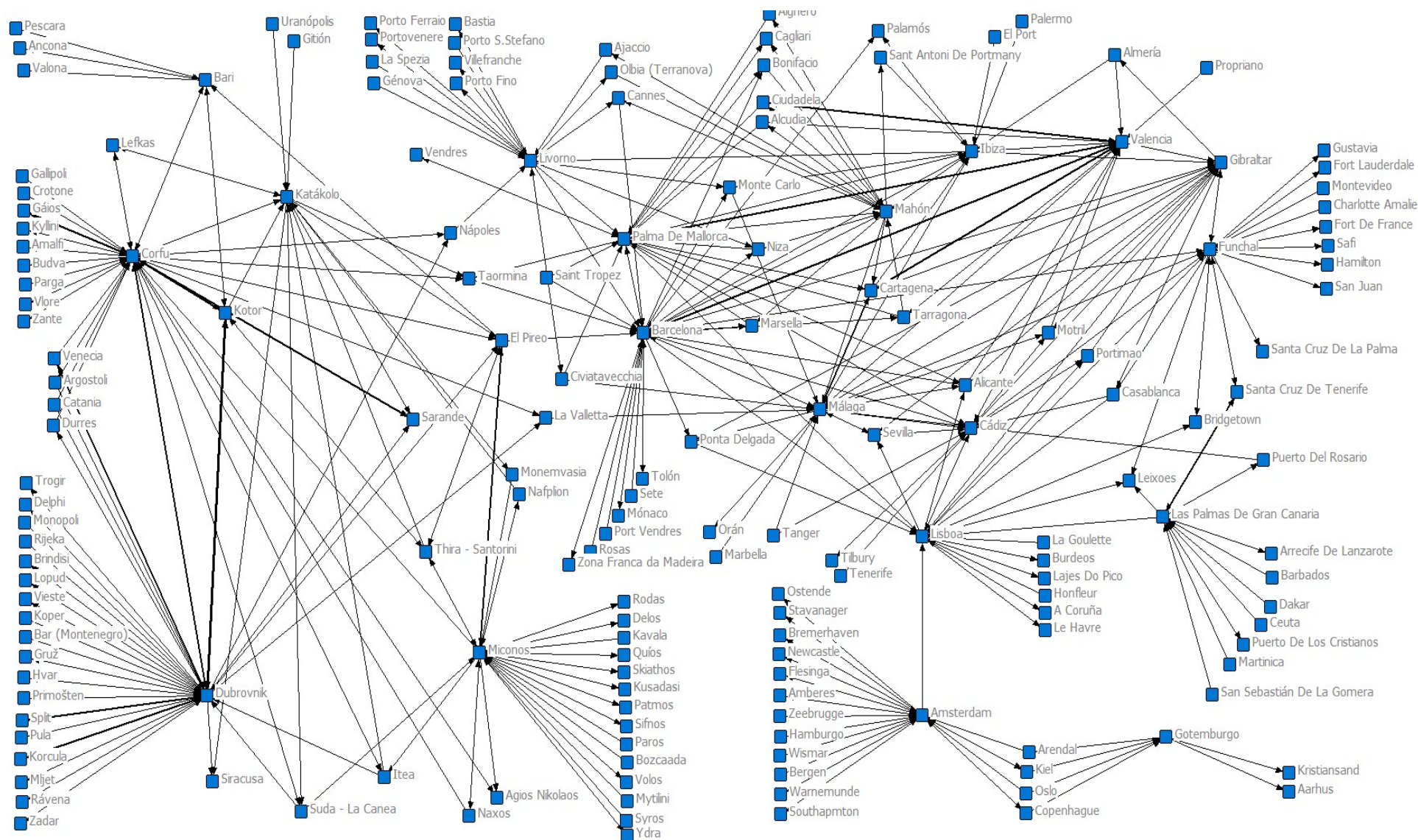
El cambio de itinerarios tan frecuentes en este segmento se puede observar en los grafos siguientes si se observa la región del Norte de Europa. Este área no siempre se encuentra conectada con el resto de la red, y si lo hace es por uno o dos puertos como máximo (Figura 5.94). Amsterdam, Gotemburgo y Southampton pueden ser considerados como los puertos más relevantes de esta región. Los dos primeros debido a que se conoce su información, y el último gracias a su favorable localización pues permite conectar el Atlántico con el Norte de Europa (Figura 5.91).

El Mediterráneo Occidental, al igual que en otros segmentos se presenta en los grafos como una zona en la que el '*entrecruzamiento*' de las líneas de conexión es mayor, especialmente en el año 2018, lo que denota una mayor complejidad en la red (Figura 5.83a). Los puertos que más importancia tienen en este segmento son Barcelona, Livorno y Málaga. Los dos primeros han aparecido previamente como relevantes, sin embargo, Málaga aparece por encima de Livorno y Palma en algunos parámetros lo que da una idea de su importancia en este segmento (Tabla 5.38). Por otra parte, Livorno en este caso tiene importancia en el grado de intermediación debido a la conexión que este puerto presenta con puertos de transición como La Valletta y especialmente con Civitavecchia, los cuales ponen en contacto el tráfico de las partes oriental y occidental del Mediterráneo.



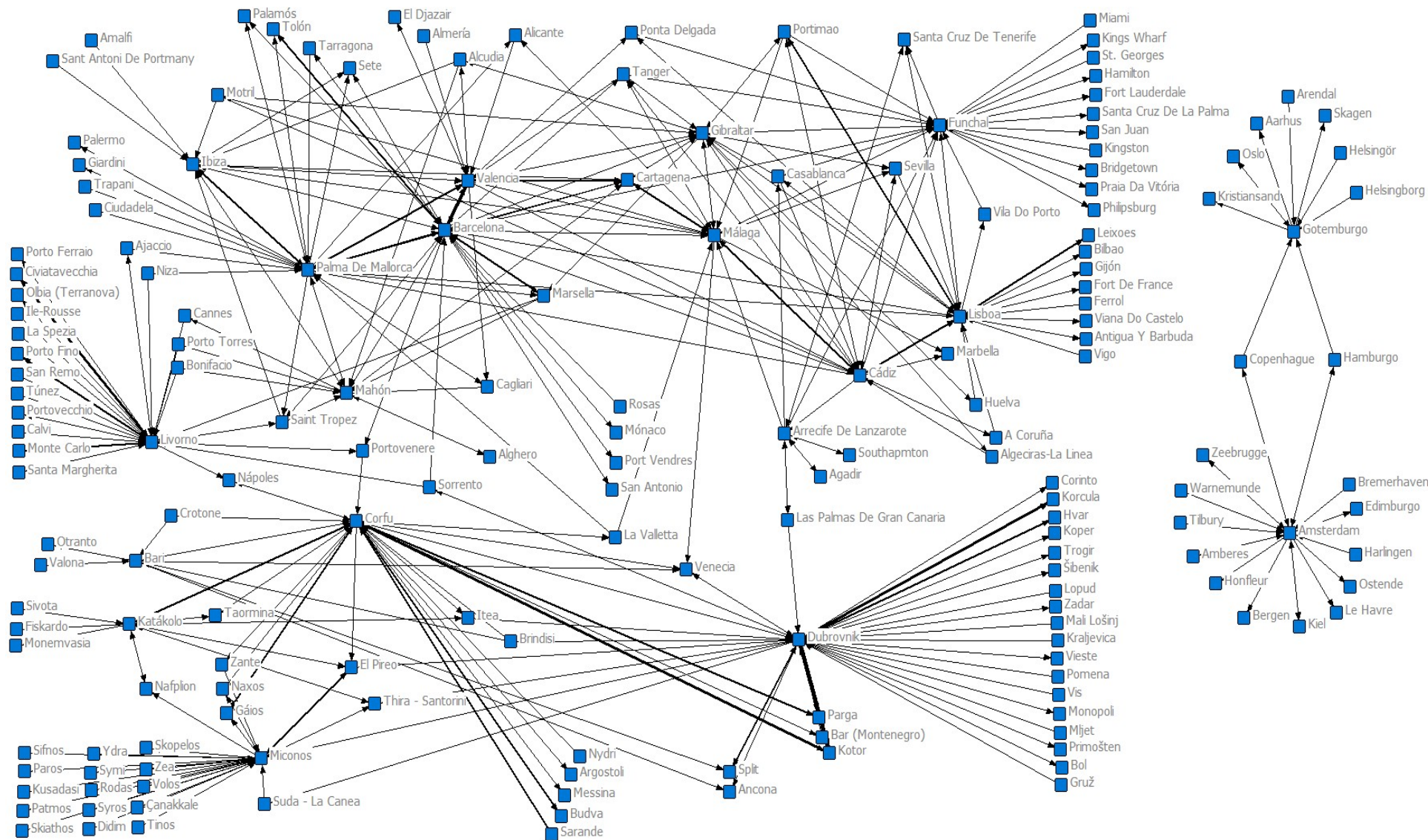
Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.91. Grafo del tráfico de cruceros del segmento de lujo en el año 2015



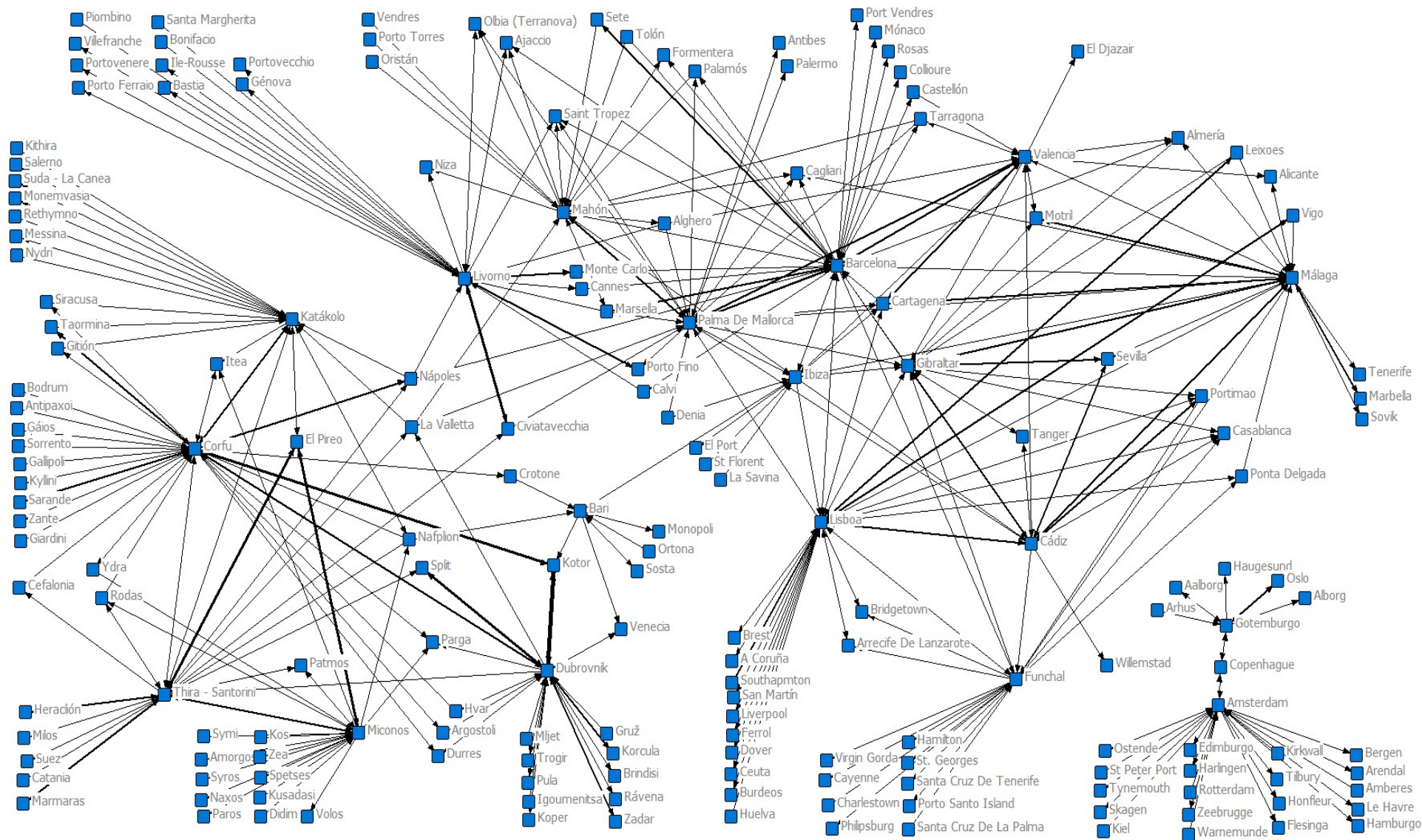
Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.92. Grafo del tráfico de cruceros del segmento de lujo en el año 2016



Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.93. Grafo del tráfico de cruceros del segmento de lujo en el año 2017



Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.95. Grafo del tráfico de cruceros del segmento de lujo en el año 2019

5.1.7. Segmento de expedición.

Resultados globales.

Los resultados de las métricas globales que se obtienen para el segmento de expedición se muestran a continuación. Por otro lado, el número de nodos y conexiones presenta cierta fluctuación. El descenso de sendos parámetros en el 2017 no fue proporcional, pues la densidad aumentó ligeramente. No obstante, en 2018 este parámetro volvió a niveles previos (Figuras 5.96a y 5.96b).

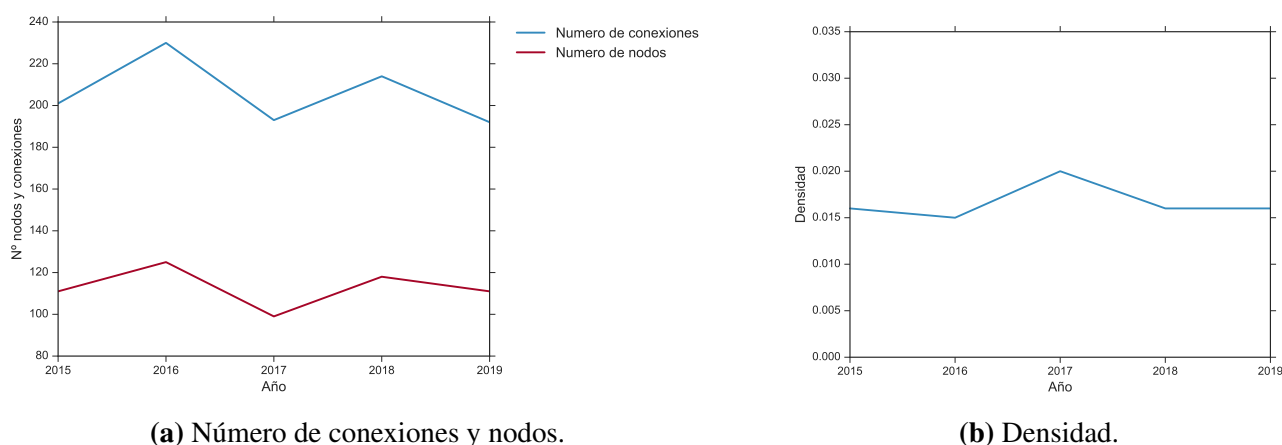


Figura 5.96. Métricas globales del mercado de cruceros europeo del segmento de expedición.

El grado de centralidad por otro lado, sí que presenta una tendencia negativa. El pequeño aumento de 2017 se puede explicar por el descenso del número de nodos y conexiones. Una menor cantidad de puertos suele ir acompañado de un descenso en las conexiones, y esto suele propiciar el aumento del grado de centralización global. Esto se explica porque es más probable que los puertos centrales ganen más importancia si la cantidad total de competidores disminuye también. No obstante, en términos generales la tendencia es negativa, pues el mar Mediterráneo, que es la zona para la cual se tienen más datos no suele ser un destino de expedición.

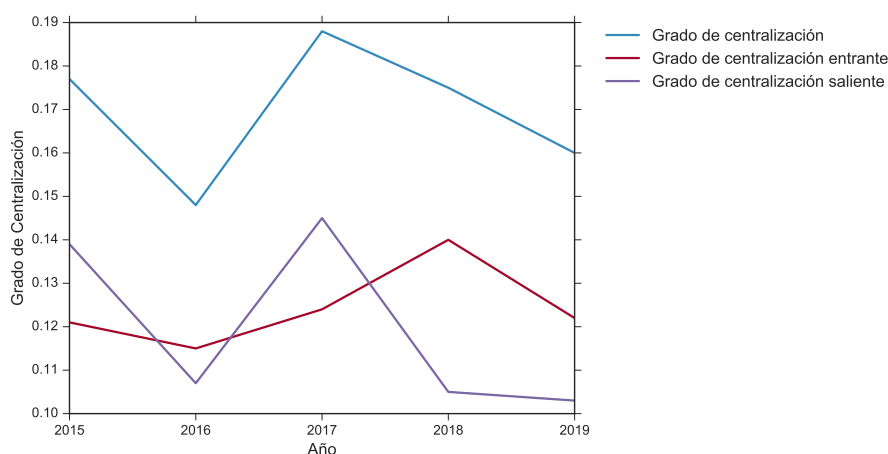


Figura 5.97. Grado de centralización global, saliente y entrante para el segmento de expedición.

Resultados locales.

Flujo iniciado y recibido. El tráfico de cruceros de este segmento parece presentar un dominio claro del Mediterráneo y el Atlántico. Sin embargo este dominio parece estar concentrado en dos años, mientras que en 2016 el aumento de flujo de cruceros se produce en el Mediterráneo, en 2017 dicho aumento parece darse en el Atlántico. Los cinco primeros puertos tienen cierta tendencia negativa, exceptuando los picos de volumen en el tráfico de los años 2016 y 2017 (Figuras 5.98 y 5.99).

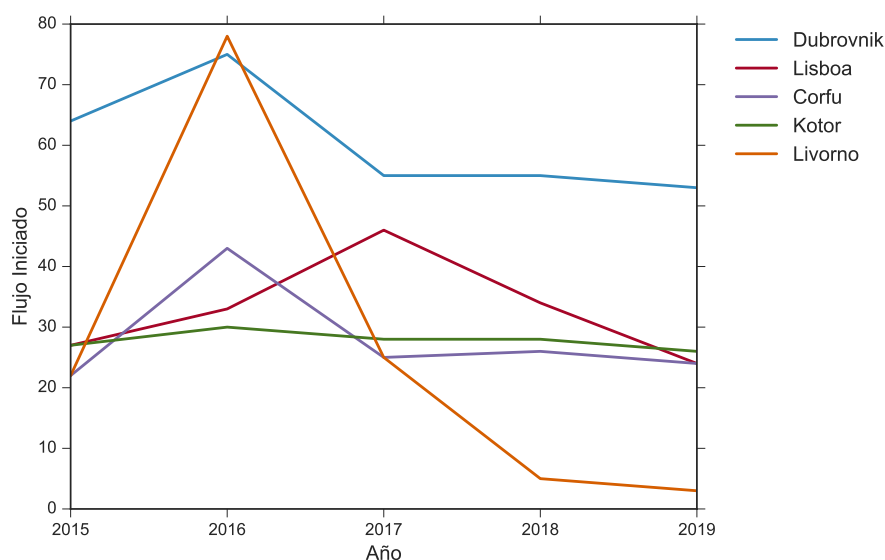


Figura 5.98. Flujo iniciado del mercado europeo de cruceros para los puertos más relevantes del segmento de expedición.

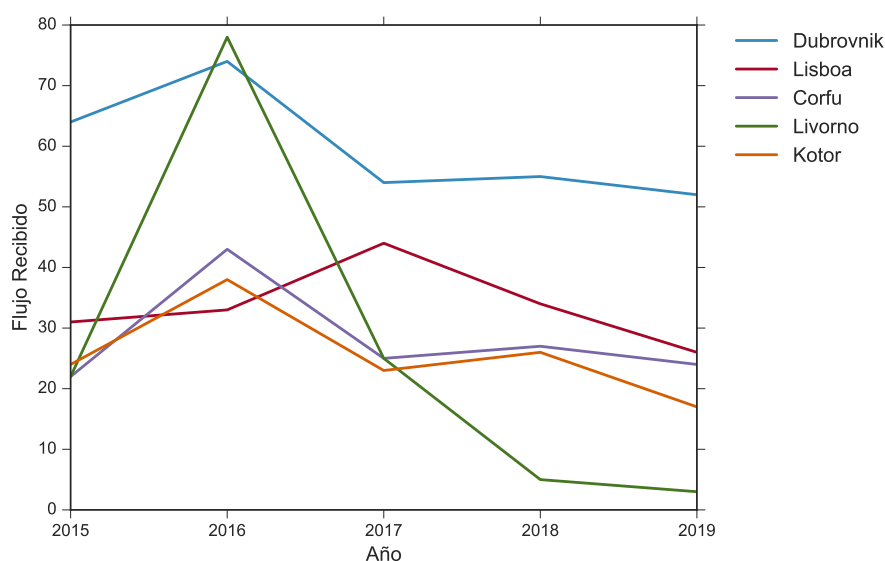


Figura 5.99. Flujo recibido del mercado europeo de cruceros para los puertos más relevantes del segmento de expedición.

Tabla 5.41. Los 15 puertos con más tráfico iniciado y su evolución durante los años de estudio para el segmento de expedición.

Puerto	2015	2016	2017	2018	2019
Dubrovnik	64	75	55	55	53
Lisboa	27	33	46	34	24
Corfu	22	43	25	26	24
Kotor	27	30	28	28	26
Livorno	22	78	25	5	3
Amsterdam	25	19	23	33	14
Miconos	27	32	16	17	21
Gibraltar	2	16	32	20	20
Korcula	20	24	17	12	12
Málaga	8	16	30	12	16
Valencia	13	11	19	10	18
Génova	1	64	2	0	1
Cádiz	11	10	20	8	11
Barcelona	7	14	13	11	15
Sarande	13	18	7	12	9

Tabla 5.42. Los 15 puertos con más tráfico recibido y su evolución durante los años de estudio para el segmento de expedición.

Puerto	2015	2016	2017	2018	2019
Dubrovnik	64	74	54	55	52
Lisboa	31	33	44	34	26
Corfu	22	43	25	27	24
Livorno	22	78	25	5	3
Kotor	24	38	23	26	17
Amsterdam	24	19	23	32	14
Miconos	23	32	16	19	20
Málaga	8	16	32	11	18
Gibraltar	1	12	31	18	21
Tilbury	20	2	25	27	8
Korcula	18	23	13	10	11
Civitavecchia	1	67	1	1	1
Valencia	12	11	18	12	17
Hvar	9	9	17	12	18
Cádiz	11	12	21	9	12

Grado de centralidad entrante y saliente. Los puertos del atlántico y Norte de Europa son más relevantes si se tiene en cuenta el grado de centralización lo cual da una idea aproximada de la distribución en el tráfico de cruceros del segmento, aunque también es posible encontrar puertos del Mediterráneo Oriental. En términos generales puede decirse que las tendencias son varias dependiendo de la región que se considere. El Mediterráneo Oriental ha seguido una evolución en forma de 'v', pues generalmente puede decirse en 2016 y 2017 existe un descenso de este parámetro y en los años posteriores una recuperación. La zona atlántica por su parte sí tiene cierta tendencia positiva, mientras que del Norte de Europa es difícil generalizar pues los datos son más bien escasos,

aunque los resultados apuntan a una actividad desarrollada por los cruceros de expedición algo elevada (Figuras 5.100 y 5.101).

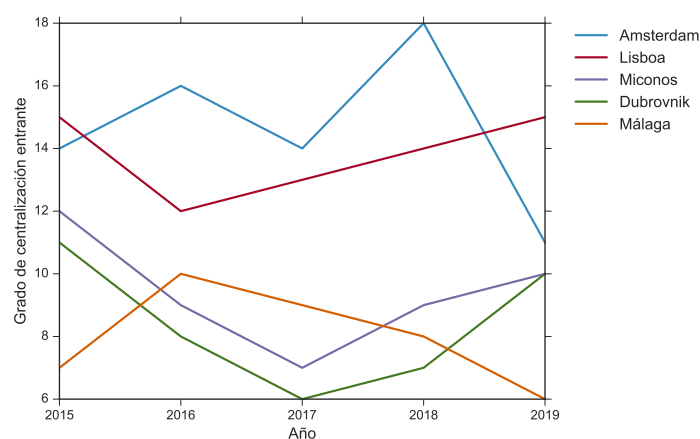


Figura 5.100. Grado de centralización entrante de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento de expedición.

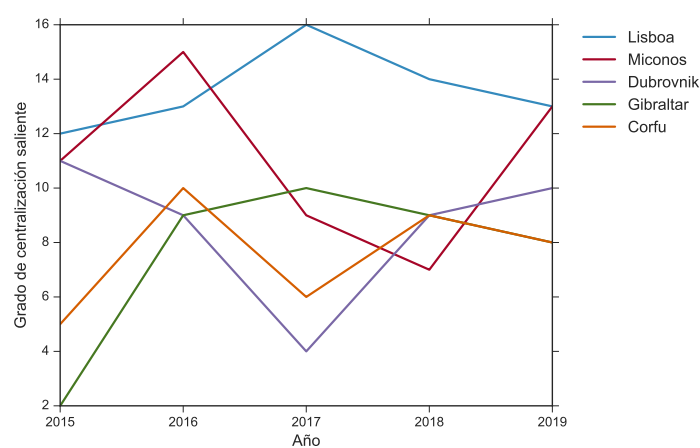


Figura 5.101. Grado de centralización saliente de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento de expedición.

Tabla 5.43. Los 15 puertos con mayor grado de centralización entrante y su evolución durante los años de estudio para el segmento de expedición.

Puerto	2015	2016	2017	2018	2019
Amsterdam	14	16	14	18	11
Lisboa	15	12	13	14	15
Miconos	12	9	7	9	10
Dubrovnik	11	8	6	7	10
Málaga	7	10	9	8	6
Corfu	5	10	7	8	8
Gibraltar	1	6	10	11	7
Cádiz	7	7	7	6	7
Funchal	5	6	5	9	6
Valencia	7	6	6	5	5
Barcelona	5	7	8	4	5
Thira - Santorini	12	0	1	10	4
Palma De Mallorca	4	5	5	6	4
Mahón	6	6	4	3	1
Katákolo	3	6	2	6	3

Tabla 5.44. Los 15 puertos con mayor grado de centralización saliente y su evolución durante los años de estudio para el segmento de expedición.

Puerto	2015	2016	2017	2018	2019
Lisboa	12	13	16	14	13
Miconos	11	15	9	7	13
Dubrovnik	11	9	4	9	10
Gibraltar	2	9	10	9	8
Corfu	5	10	6	9	8
Málaga	6	8	10	7	6
Thira - Santorini	17	1	1	11	5
Funchal	5	8	6	8	6
Barcelona	5	7	6	7	7
Valencia	6	6	7	4	7
Cádiz	6	5	5	7	5
Amsterdam	6	7	3	5	6
Palma De Mallorca	4	5	7	5	3
Mahón	7	6	2	5	1
Katákolo	3	5	2	5	4

Grado de intermediación. Los resultados obtenidos para los puertos más importantes revelan lo que se venía advirtiendo antes, la evolución en forma de 'v' de algunos puertos orientales como Dubrovnik, y la estabilidad de aquellos pertenecientes al Atlántico y Norte de Europa (Figura 5.102). La región del Mediterráneo Occidental muestra una tendencia claramente negativa, especialmente para el año 2018 (Tabla 5.45). Esto anterior es otra muestra de lo que se venía advirtiendo anteriormente, que la zona del Mediterráneo Occidental no es un destino para los cruceros del segmento de expedición.

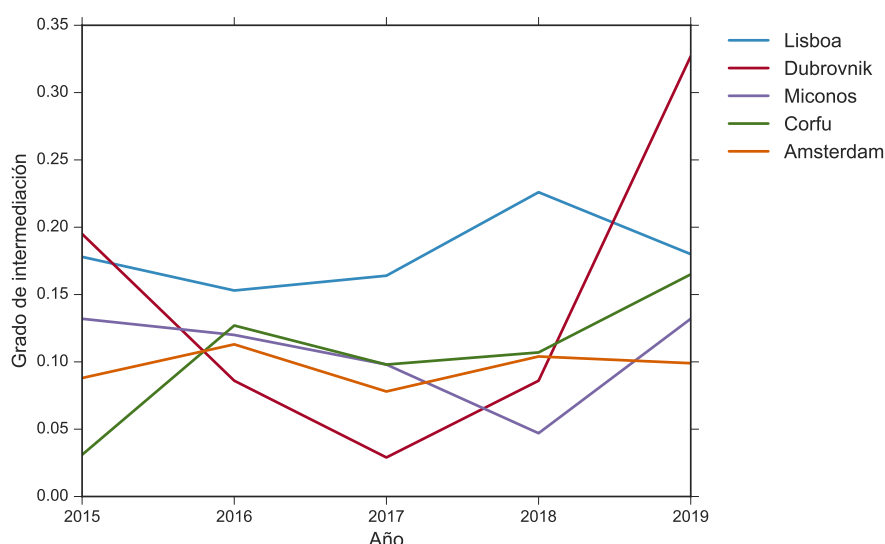


Figura 5.102. Grado de intermediación de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento de expedición.

Tabla 5.45. Los 15 puertos con mayor grado de intermediación y su evolución durante los años de estudio para el segmento de Lujo.

Puerto	2015	2016	2017	2018	2019
Lisboa	0,178	0,153	0,164	0,226	0,180
Dubrovnik	0,195	0,086	0,029	0,086	0,327
Miconos	0,132	0,120	0,098	0,047	0,132
Corfu	0,031	0,127	0,098	0,107	0,165
Amsterdam	0,088	0,113	0,078	0,104	0,099
Barcelona	0,128	0,047	0,071	0,062	0,067
El Pireo	0,130	0,113	0,022	0,002	0,085
Málaga	0,036	0,087	0,082	0,070	0,066
Cádiz	0,050	0,050	0,024	0,066	0,139
Katákolo	0,017	0,228	0,007	0,024	0,035
Gibraltar	0,003	0,035	0,071	0,083	0,095
Funchal	0,042	0,044	0,037	0,071	0,041
Thira - Santorini	0,122	0,000	0,000	0,067	0,044
Mahón	0,058	0,064	0,015	0,018	0,013
Valencia	0,075	0,020	0,028	0,015	0,022

Índice *hub*. El índice *hub* de los principales puertos con este parámetro apenas se muestra muy variable durante el tiempo de estudio (Figura 5.103). La elevada importancia que atribuye esta medida a los puertos procedentes del Mediterráneo Oriental puede ser explicada por la cantidad de tráfico con los que éstos trabajan, pues el HACC también depende del volumen de cruceros que hacen escala en un puerto. El elevado índice *hub* que tienen estos puertos también puede estar justificado por las conexiones que éstos tengan, lo cual habrá que analizar en los grafos. No obstante, con un mayor número de datos para puertos del Norte de Europa estos resultados probablemente hubiesen sido distintos.

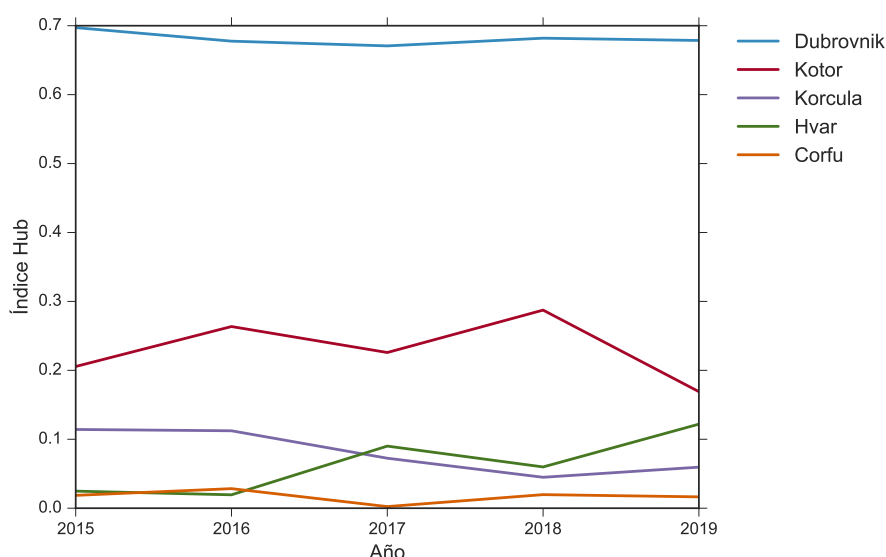


Figura 5.103. Índice *hub* de los puertos más relevantes del mercado europeo de cruceros del segmento de expedición.

Tabla 5.46. Los 15 puertos con índice *hub* y su evolución durante los años de estudio para el segmento de Expedición.

Puerto	2015	2016	2017	2018	2019
Dubrovnik	0,69723	0,67757	0,67071	0,68189	0,67858
Kotor	0,20560	0,26356	0,22587	0,28739	0,16911
Korcula	0,11424	0,11232	0,07251	0,04486	0,05955
Hvar	0,02477	0,01944	0,09011	0,05985	0,12194
Corfu	0,01864	0,02837	0,00234	0,01970	0,01646
Lisboa	0,00001	0,00000	0,00111	0,02309	0,00257
Sarande	0,00730	0,00879	0,00031	0,00027	0,00213
Itea	0,00319	0,00345	0,00024	0,00040	0,00214
Split	0,00416	0,00039	0,00130	0,00137	0,00000
Cádiz	0,00000	0,00000	0,00009	0,00085	0,00372
Amsterdam	0,00000	0,00000	0,00004	0,00281	0,00060
Miconos	0,00009	0,00018	0,00004	0,00218	0,00025
Otranto	0,00137	0,00000	0,00000	0,00036	0,00099
Thira - Santorini	0,00021	0,00000	0,00000	0,00123	0,00082
Gibraltar	0,00000	0,00000	0,00014	0,00074	0,00126

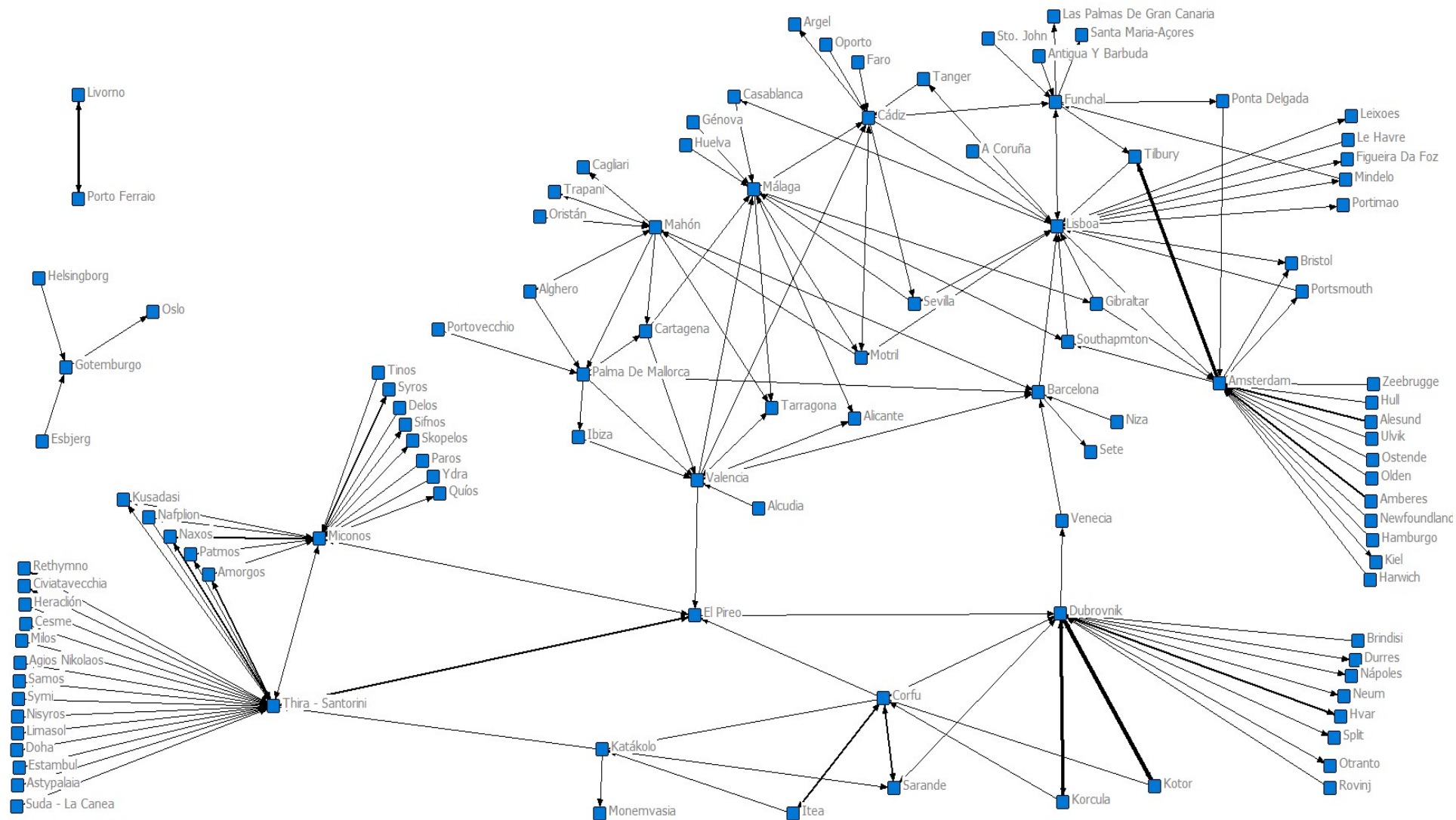
Grafos.

Los grafos muestran lo que los resultados locales y globales han puesto de relieve anteriormente. Este segmento tiene muy poco tráfico de buques especialmente en el Mediterráneo, por eso hay años para los que dos puertos como Livorno y Porto Ferraio se encuentran aislados. Esto muestra la poca importancia que tiene el Mediterráneo Occidental en este tipo de tráfico, pues no sólo se encuentran desconectados puertos como Livorno, sino que en 2018 deja de conectar con la región oriental de este mar, aunque este efecto se analizará en el siguiente párrafo.

La actividad del segmento de expedición en el mar Mediterráneo se desarrolla en torno a varios

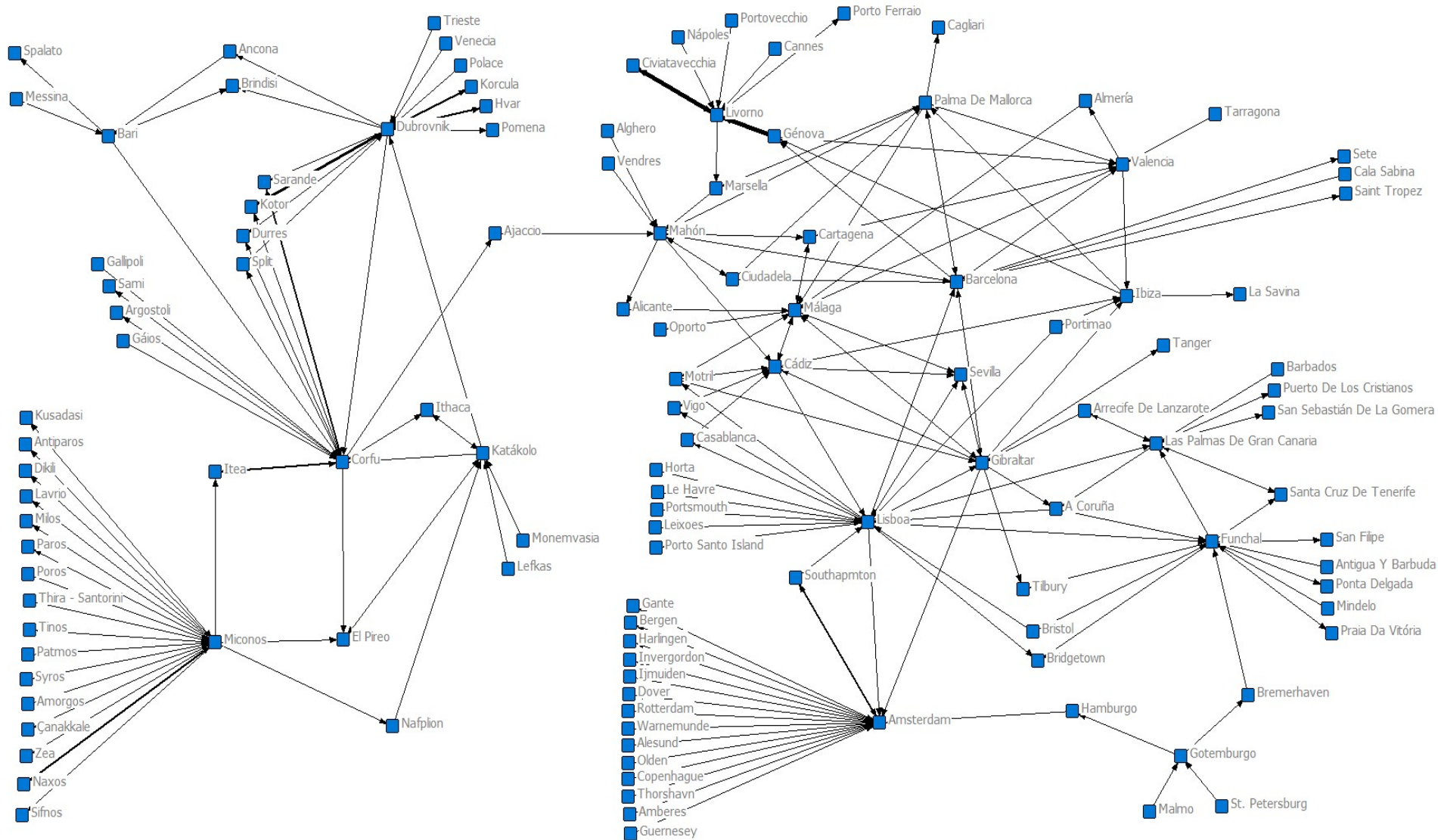
puertos como Dubrovnik, Corfu y Miconos, los cuales conectan con numerosos puertos menores. De los tres, el más relevante según los resultados obtenidos es Dubrovnik. Esto se explica por la posición relevante que ha ido ocupando el puerto croata con el tiempo, en 2015 y 2016, su localización en la red es similar a la que tiene Miconos o El Pireo, sin embargo en 2017 para acceder a puertos del Mediterráneo Oriental se tiene que pasar forzosamente por Dubrovnik (Figura 5.106). El año 2018 la región del Mediterráneo Oriental se separa completamente del Occidental, para posteriormente en 2019 conectar con puertos atlánticos como Cádiz o Casablanca, siempre pasando por Dubrovnik. Cabe destacar esta última tendencia que presenta el mercado del segmento de expedición, pues separa progresivamente las dos zonas mediterráneas hasta que en 2018 éstas son independientes una de la otra, y en 2019 son algunos puertos atlánticos los que conecta sendas regiones.

Las zonas atlántica y del Norte de Europa han ido consolidándose a medida que han pasado los años. En el Norte de Europa esta mejora se puede observar en los grafos claramente, pues en 2015 Gotemburgo y aquellos puertos a los que se encontraba conectado estaban aislados del resto de puertos perteneciente al Norte de Europa. La zona atlántica por otro lado ha ido ganando en importancia debido a lo que se ha mencionado anteriormente, pues parece que estos puertos son los que conectan las tres zonas del Mediterráneo Oriental, Occidental y Norte de Europa. Esto último tiene sentido si se considera que la mayor parte de los puertos que se encuentran en Europa no pueden ser considerados como destino para cruceros de este segmento. Por tanto, se pueden ver los puertos atlánticos como puntos que recogen el tráfico de todas las zonas europeas y lo dirigen a destinos como Sudamérica, los cuáles pueden ser considerados válidos para este segmento por lo exótico de estos destinos vinculados principalmente con la naturaleza.



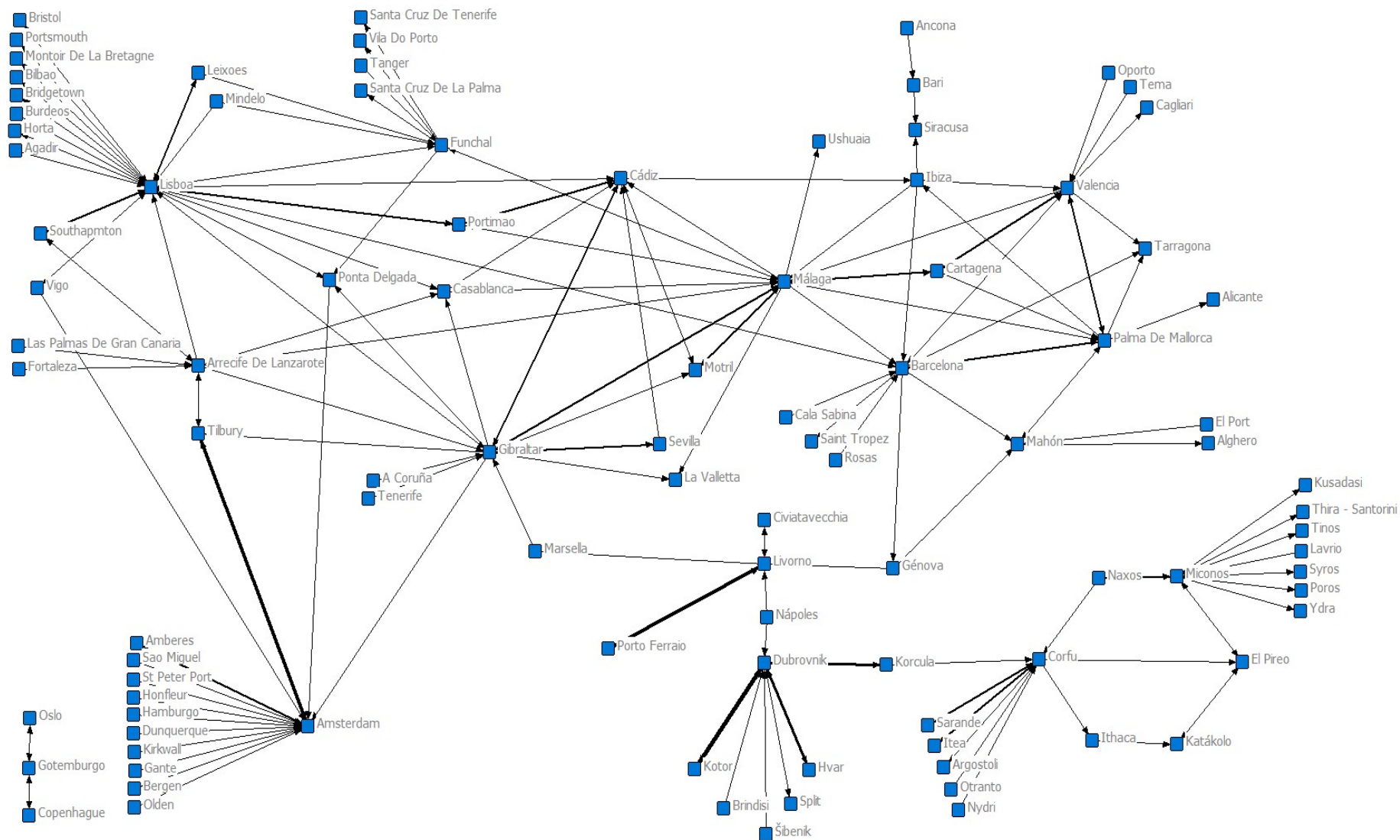
Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.104. Grafo del tráfico de cruceros del segmento de expedición en el año 2015



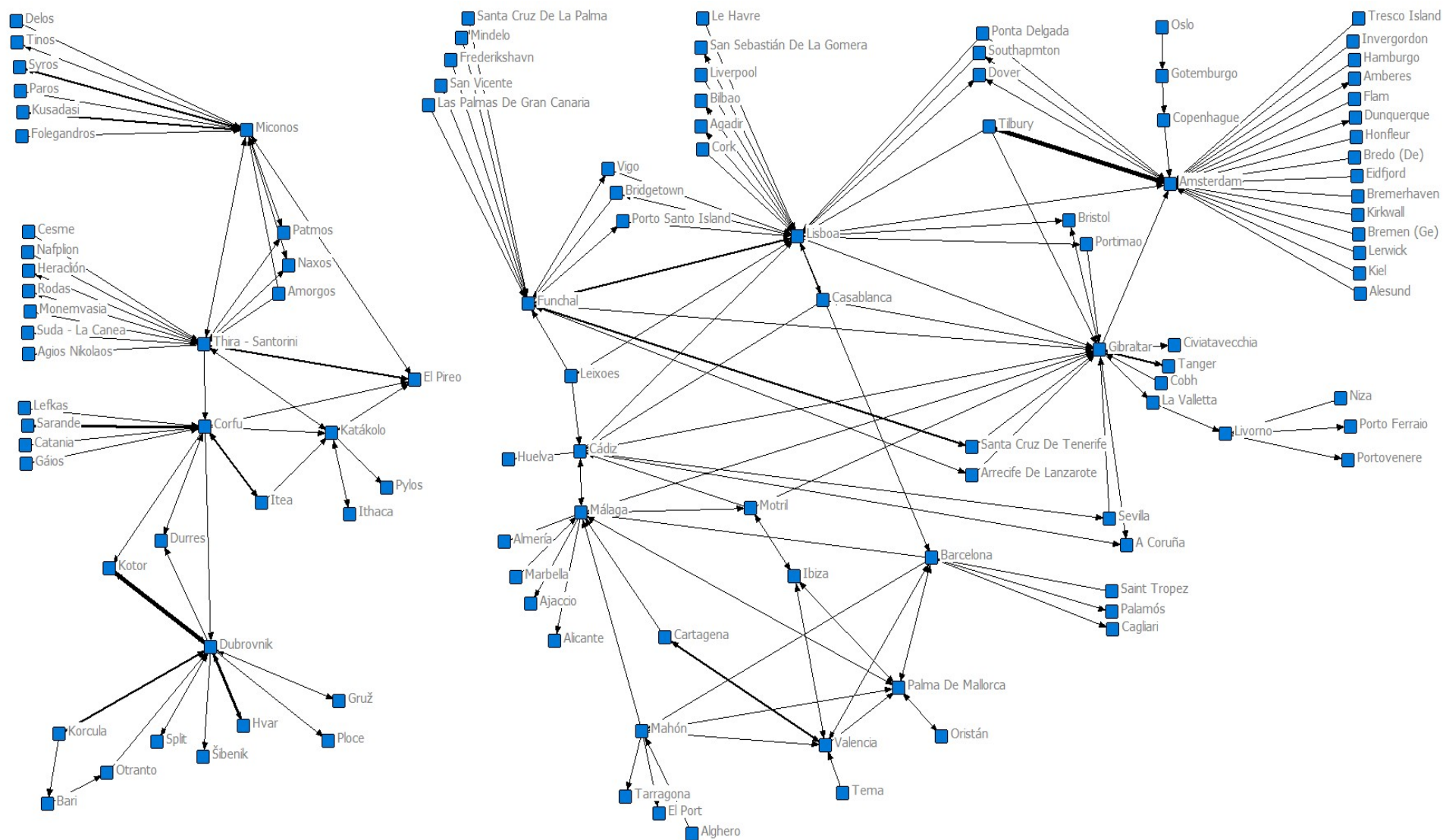
Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.105. Grafo del tráfico de cruceros del segmento de expedición en el año 2016



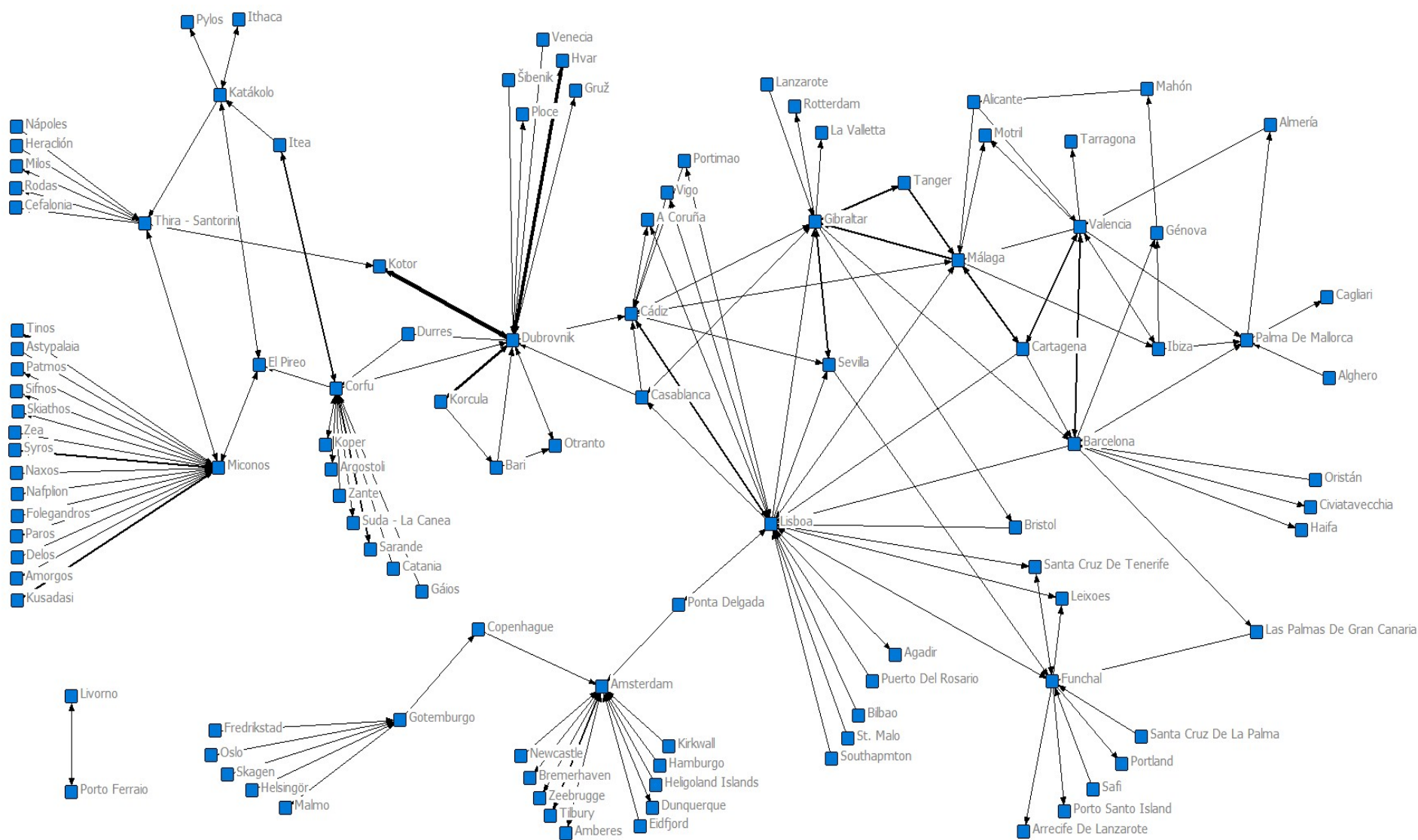
Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.106. Grafo del tráfico de cruceros del segmento de expedición en el año 2017



Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.107. Grafo del tráfico de cruceros del segmento de expedición en el año 2018



Nota: Las líneas de mayor grosor indican mayor intensidad de tráfico entre los puertos.

Figura 5.108. Grafo del tráfico de cruceros del segmento de expedición en el año 2019

5.2. Impacto medioambiental de la industria de cruceros en el Mediterráneo Occidental

El impacto ambiental se ha estimado sobre los dos gases de escape más nocivos de los cruceros, el SO_x y el NO_x. Además, el cálculo se ha hecho sobre el 20 % de conexiones (que agrupan un total del 80 % de trayectos). La cantidad de gases emitidos por los cruceros del Mediterráneo Occidental en el año 2019 ascienden a 11543,66 toneladas de NO_x, y 1263,45 de SO_x. Debido a que esta suma de emisiones corresponde al 80 % de trayectos se podría estimar las totales como se muestra a continuación (Ecuaciones 5.1 y 5.2)

$$NO_{xMedOccidental} [t] = \frac{11543,66}{0,8} = 14430 t \quad (5.1)$$

$$SO_{xMedOccidental} [t] = \frac{1263,45}{0,8} = 1555 t \quad (5.2)$$

Las múltiples formas que existen de reducir el SO_x y NO_x emitidos por un buque ya se han tratado previamente (Capítulo 3). De acuerdo con esta sección del trabajo existen tres tipos de estrategias para reducir el volumen de gases contaminantes emitidos: tecnológica, operacional y de mercado. Este apartado se va a centrar especialmente en las estrategias tecnológicas, dado que el cálculo del ahorro de emisiones es más preciso en este caso que para las estrategias operacionales y de mercado.

El estudio del impacto atmosférico que se presenta en el trabajo, se ha realizado conociendo cómo se conectan los puertos de crucero entre sí. Esto permite un estudio más profundo sobre el tema, pues es posible determinar en qué conexiones se producen las mayores cantidades de NO_x y SO_x (Tablas 5.47, 5.48 y 5.49).

Tabla 5.47. Distribución de emisiones en las principales conexiones del Mediterráneo Occidental ordenados de mayor a menor número de conexiones.

Conexiones	Distancia (millas)	Número de viajes	Emisiones Nox (t)	Emisiones SOx (t)	% NOx	% SOx
Palma De Mallorca-Barcelona	133	355	1182,44	86,53	10,24	6,85
Livorno-Civiatavecchia	118	251	507,04	56,74	4,39	4,49
Barcelona-Marsella	185	195	644,85	46,15	5,59	3,65
Barcelona-Valencia	164	191	659,20	106,07	5,71	8,40
Palma De Mallorca-Valencia	141	161	599,57	73,95	5,19	5,85
Ibiza-Palma De Mallorca	116	127	231,09	24,29	2,00	1,92
Gibraltar-Málaga	63	113	537,29	89,29	4,65	7,07
Málaga-Cádiz	132	71	120,01	19,26	1,04	1,52
Palma De Mallorca-Marsella	289	70	247,77	14,98	2,15	1,19
Livorno-Villefranche	131	67	122,68	16,78	1,06	1,33

Tabla 5.48. Continuación de la distribución de emisiones en las principales conexiones del Mediterráneo Occidental ordenados de mayor a menor número de conexiones.

Conexiones	Distancia (millas)	Número de viajes	Emisiones Nox (t)	Emisiones SOx (t)	% NOx	% SOx
Palma De Mallorca-Cagliari	326	62	201,59	14,68	1,75	1,16
Livorno-Nápoles	262	62	280,43	19,98	2,43	1,58
Palma De Mallorca-Cannes	346	61	230,98	11,57	2,00	0,92
Málaga-Cartagena	188	56	109,71	25,35	0,95	2,01
Livorno-Monte Carlo	131	56	90,67	12,14	0,79	0,96
Barcelona-Ibiza	156	54	108,14	11,27	0,94	0,89
Barcelona-La Valletta	666	52	339,09	19,85	2,94	1,57
Valencia-Cartagena	155	51	84,82	17,18	0,73	1,36
Livorno-Génova	78	47	62,19	5,46	0,54	0,43
Gibraltar-Cádiz	73	47	186,31	27,37	1,61	2,17
Palma De Mallorca-Ajaccio	336	46	139,16	11,12	1,21	0,88
Barcelona-Nápoles	555	44	422,19	38,49	3,66	3,05
Palma De Mallorca-Civiatavecchia	461	39	136,79	8,12	1,18	0,64
Gibraltar-Southampton	1145	38	208,11	17,27	1,80	1,37
Barcelona-Sete	154	38	69,54	9,78	0,60	0,77
Livorno-Cannes	144	38	96,88	7,96	0,84	0,63
Palma De Mallorca-Cádiz	519	37	107,07	9,33	0,93	0,74
Palma De Mallorca-Mahón	101	36	53,78	21,61	0,47	1,71
Gibraltar-Cartagena	237	34	174,78	17,75	1,51	1,41
Gibraltar-Barcelona	515	33	194,39	12,55	1,68	0,99
Thira - Santorini-Civiatavecchia	1081	32	123,34	25,38	1,07	2,01
Málaga-Funchal	856	32	385,81	42,87	3,34	3,39
Palma De Mallorca-Palermo	524	31	104,84	6,77	0,91	0,54
Valencia-Marsella	345	31	186,13	13,64	1,61	1,08
Barcelona-Tolón	202	31	69,76	12,71	0,60	1,01
Palma De Mallorca-Tarragona	127	30	71,29	9,57	0,62	0,76
Palma De Mallorca-Palamós	147	29	55,42	10,94	0,48	0,87
Gibraltar-Lisboa	303	28	147,38	13,34	1,28	1,06
Málaga-Marbella	54	28	18,13	2,06	0,16	0,16
Ibiza-Nápoles	686	27	360,18	18,55	3,12	1,47
Barcelona-Cádiz	584	27	235,48	25,09	2,04	1,99
Málaga-Barcelona	466	27	183,46	18,87	1,59	1,49
Barcelona-Civiatavecchia	439	27	115,30	18,54	1,00	1,47
Málaga-Alicante	251	27	77,39	15,53	0,67	1,23
Livorno-Porto Fino	78	23	36,92	5,55	0,32	0,44
Málaga-Valencia	338	22	106,59	10,78	0,92	0,85
Ibiza-Palermo	602	21	198,03	16,84	1,72	1,33
Gibraltar-Sevilla	118	21	59,74	19,94	0,52	1,58
Katákoló-Civiatavecchia	745	20	170,60	34,92	1,48	2,76
Palma De Mallorca-La Spezia	456	20	99,20	2,34	0,86	0,19
Valencia-Civiatavecchia	572	19	94,05	9,47	0,81	0,75
Ibiza-Olbia (Terranova)	485	19	32,12	3,12	0,28	0,25
Málaga-Lisboa	362	19	95,95	11,12	0,83	0,88
Livorno-Tolón	195	18	45,15	5,24	0,39	0,41

Tabla 5.49. Continuación de la distribución de emisiones en las principales conexiones del Mediterráneo Occidental ordenados de mayor a menor número de conexiones.

Conexiones	Distancia (millas)	Número de viajes	Emisiones Nox (t)	Emisiones SOx (t)	% NOx	% SOx
Barcelona-Savona	335	17	82,90	9,57	0,72	0,76
Barcelona-Cannes	256	17	57,22	8,28	0,50	0,66
Gibraltar-Tanger	32	15	21,08	21,74	0,18	1,72
Málaga-Civiatavecchia	833	13	94,43	7,26	0,82	0,57
Palma De Mallorca-Trapani	483	13	20,20	5,49	0,18	0,43
Barcelona-Alicante	223	13	35,29	4,27	0,31	0,34
Palma De Mallorca-Arrecife De Lanzarote	1252	2	4,40	0,10	0,04	0,01
Málaga-Arrecife De Lanzarote	788	2	7,29	0,71	0,06	0,06

5.2.1. Reducción de NO_x

Las posibles estrategias tecnológicas se han analizado previamente en el capítulo 3 y a cada una de ellas se les ha estimado un porcentaje de reducción del NO_x según la bibliografía analizada. Así pues, aplicando dicha rebaja porcentual se puede calcular la posible reducción obtenida para la aplicación de cada estrategia, las cuales son:

- Combustibles de más calidad como el MGO o el GNL.
- Modificación de motores, o medidas primarias, cuyo objetivo es disminuir la temperatura en la cámara de combustión:
 - Retraso de la inyección.
 - Variación del ángulo de los inyectores.
 - Inyección directa de agua.
 - Emulsificador de fuel.
 - Recirculación de los gases de escape (EGR).
- Reducción catalítica, o medida secundaria.

El límite de la emisión de NO_x que marca el Tier III se fija en un máximo de 3,4 g/KWh (para motores cuyas velocidad sea menor de 130 rpm). Esto último marca un límite al que atenderse a la hora de proponer soluciones, pues puede darse el caso de que estas medidas no alcancen a reducir las emisiones lo suficiente como para cumplir el objetivo del Tier III (Figura 5.109). La estimación que se ha hecho anteriormente de las emisiones para cada crucero aproxima que por cada KWh se expulsan 14,875 g de NO_x. Todo lo anterior indica que para cumplir con el TIER III la reducción de NO_x debe ser como mínimo del 77,14 %.

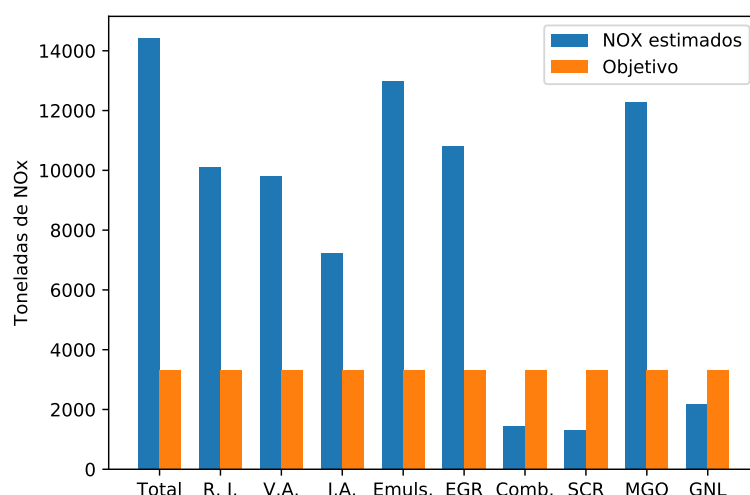


Figura 5.109. Reducción estimada de NO_x según el método que se desee utilizar para este propósito. Las abreviaturas que aparecen indican: RI, retraso de inyección; VA, variación del ángulo de los inyectores; IA, Inyección de agua; Emuls, emulsión y Comb, combinación de uno o más de estos métodos.

La reducción de las medidas primarias propuestas no cumplen con el objetivo marcado por el TIER III, tan sólo la combinación de éstas puede reducir lo suficiente la cantidad de emisiones. No obstante, la aplicación simultánea de medidas primarias no puede considerarse como una solución, pues todas estas formas de reducir la cantidad de NO_x tienen desventajas individualmente. De forma que si se aplican varias medidas primarias, se tendrían todas estas desventajas individuales, disminuyendo la calidad de esta opción que intenta aplicar varias medidas primarias simultáneamente.

El uso de medidas secundarias como la reducción catalítica selectiva (SCR) sí que cumple con los objetivos marcados por el TIER III. Esta forma permite utilizar combustibles de peor calidad, aunque el contenido en azufre de éstos debería ser bajo por el riesgo de desgaste prematuro y corrosión del sistema.

La calidad del combustible afecta en gran medida a los gases de exhaustación, no obstante hay que tener en cuenta las diferencias de precios existente entre los combustibles (a 3/3/2021 la tonelada de gasoil marino cuesta 574 \$, mientras que la de fueloil tan sólo 396\$) [100]. Las opciones que se presentan para desplazar al fueloil marino son principalmente dos: el gasoil marino (MGO) y el gas (GNL) que además reducen la cantidad de NO_x emitido un 15 % y un 85 % respectivamente. Sin embargo, el único combustible que cumple con las restricciones impuestas por el TIER III es el GNL. Además, este combustible tiene un bajo contenido en azufre y una mayor capacidad calorífica, esto lo hace una solución a tener en cuenta. Sin embargo, el coste de este combustible es mayor, y la mayor parte del coste de operación de un barco se debe precisamente al combustible.

5.2.2. Reducción de SO_x

Las posibles estrategias tecnológicas que permiten reducir las emisiones de SO_x no son tan numerosas como para el caso del NO_x . No obstante, las principales son:

- Combustibles de mayor calidad, como el uso del MGO o GNL.

■ Instalación de *scrubbers*.

Hasta el 31 de diciembre de 2019, para los buques que operasen fuera de las zonas de control de las emisiones, el límite de contenido de azufre del fueloil de los buques era de 3,50 % masa de azufre/masa de combustible [101]. Por otro lado, el límite actual del SO_x exige que el contenido de azufre en el combustible utilizado sea como máximo del 0,1 % para las zonas de control de emisiones (Capítulo 3). Esto anterior indica que el azufre debe disminuir un 95 %. (Figura 5.110).

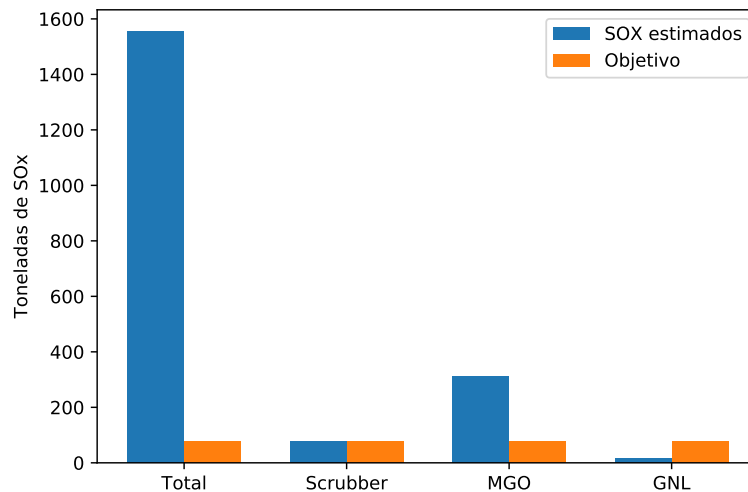


Figura 5.110. Reducción estimada de SO_x según el método que se desee utilizar para este propósito.

Los *scrubbers* se presentan como una solución factible, en este caso. La reducción de SO_x que se consigue con este sistema se encuentra en los límites marcados por la normativa. Al igual que antes, con este sistema el uso de combustibles de peor calidad se hace posible, aunque el hecho de tener un sistema adicional para la reducción de emisiones crea también costes de mantenimiento y operativos. Además, el agua que resulta de este filtrado es otro residuo más que debe gestionarse.

El combustible pesado (fueloil) puede ser sustituido por otros de mayor calidad. Al igual que para el NO_x , las dos principales opciones para reducir la emisión del SO_x son el gasoil marino (MGO) y el gas (GNL), cuyas tasas de reducción son del 75 % y más del 95 % respectivamente. A pesar de que la primera opción reduce significativamente el contenido de SO_x de los gases de exhaustación, no cumple con los límites impuestos. Por otro lado, el gas se presenta como una mejor opción que los *scrubbers* pues puede decirse que el uso de GNL apenas emite SO_x .

Conclusión

El mercado de cruceros europeo ha sufrido cambios en términos generales y específicos. La tendencia de los parámetros globales apenas ha variado en el tiempo de estudio, concretamente el número de nodos y conexiones. Esto puede deberse a varios factores:

- Los datos utilizados provienen de puertos que han alcanzado un punto en que el aumento de tráfico es cada vez menor.
- Los mercados emergentes como Asia afectan negativamente al desarrollo de esta actividad en otras zonas como Europa.

Las medidas locales del mercado europeo de cruceros muestran que los puertos con mayor volumen de cruceros se encuentran en el Mediterráneo (Occidental y Oriental), mientras que si se tienen en cuenta el grado de centralidad, la zona del Mediterráneo Oriental comienza a perder importancia, en contraposición a lo que ocurre con el Atlántico.

Las distintas regiones que conforman la zona Europea tienen varias funciones en el mercado de cruceros:

- El Atlántico puede considerarse como una zona de transición donde los cruceros realizan sus itinerarios de reposicionamiento durante el cambio de temporada. Los puertos más destacados de esta zona son tres. Funchal, pues conecta los puertos del Atlántico europeo con los americanos. Lisboa, ya que se encarga de redirigir el tráfico del Atlántico hacia el Norte de Europa. Por último, Gibraltar, ya que tiene una función similar a la de Lisboa, pero con la región mediterránea en lugar del Norte de Europa. Esto se ve confirmado con las medidas del grado de centralidad, en las que los puertos de esta zona ocupan posiciones relevantes, así Lisboa, Funchal y Gibraltar se sitúan en los puestos 1º, 7º y 8º respectivamente, considerando la centralidad saliente (ascendiendo dicho parámetro a 45, 43 y 35 para estos tres puertos). Además, los elevados valores de Lisboa, Funchal y Gibraltar en el grado de intermediación reafirman a esta región como zona de transición.
- La zona del Mediterráneo Oriental es valorada como una región de destino. Esto se debe al bajo número de puertos de otras regiones que se pueden observar en sus grafos. Los puertos más relevantes son Venecia y El Pireo. Éstos pueden ser considerados *hubs* debido a la facilidad de conexión con otros medios de transporte como el avión. Además, el elevado índice *hub* que tienen estos puertos demuestran la importancia de El Pireo y Venecia dentro de la red, pues ocupan los puestos 7º y 13º de la lista del HACC, a pesar de no tener sus datos.

- El Mediterráneo Occidental puede considerarse zona de transición y destino a la vez. El puerto más visitado de Europa se encuentra en esta región, además de otros considerados altamente relevantes en este mercado. Esto muestra al Mediterráneo Occidental como región de destino, no obstante el elevado número de puertos exteriores evidencia la permeabilidad de esta región. La función que cumple el Mediterráneo Occidental es por tanto doble: por una parte de destino, y por otra de transición redirigiendo el flujo del Atlántico hacia el Mediterráneo Oriental, y viceversa. Los puertos más relevantes de esta región son Barcelona, Palma y Civitavecchia, todos ellos por su elevado volumen de tráfico y por la oferta intermodal que reúne varios medios de transporte. Algunos de los puertos europeos más transitados de toda Europa pertenecen a esta región, de hecho, Barcelona posee un flujo iniciado y recibido medio de 557 y 581, respectivamente, ocupando el segundo y primer puesto según estos parámetros. El puerto de Palma se sitúa ligeramente por debajo de Barcelona, pues el flujo iniciado y recibido medio para el puerto balear asciende a 535 y 540 respectivamente, colocándose en tercer lugar para ambos parámetros. No obstante, estos puertos comienzan a mostrar signos de saturación, lo que provoca que otros puertos como Marsella y Livorno recojan el tráfico que no pueden albergar estos importantes puertos. Esto se puede observar en la evolución del flujo iniciado y recibido del puerto italiano, pues en cinco años Livorno pasa de un flujo iniciado anual de 382 a 405 y uno recibido que parte de los 388 a 402. Esto hace que la centralidad disminuya, pues existen nuevos puertos importantes.
- La zona del Norte de Europa no puede afirmarse con seguridad qué función realiza. A pesar del esfuerzo que se ha realizado para obtener, tratar y analizar los datos correspondientes a esta región, los resultados no son del todo concluyentes debido a la falta de información. No obstante, sí parecen apuntar a que se comporta como región de destino debido a su localización geográfica. El puerto más importante es Southampton por la conexión con otros puertos pertenecientes a otras zonas.

La división del mercado de cruceros en segmentos puede arrojar resultados y patrones previamente ocultos debido a la cantidad de información analizada. Estudiando cada segmento por separado se concluye que:

- El segmento *budget* ha sufrido un crecimiento en estos años, pues el número de puertos y trayectos que se han dado en este segmento ha aumentado. La zona que recoge mayor actividad del presente segmento es el Mediterráneo Oriental. Esta zona puede dividirse a su vez en dos subregiones: el mar Egeo (Miconos, Santorini, El Pireo ...) y el mar Adriático (Corfú, Dubrovnik, Venecia ...). Por otro lado, el Mediterráneo Occidental tiene un menor flujo de cruceros, pero un mayor grado de centralidad e intermediación, lo que demuestra su permeabilidad pues conecta el Mediterráneo Oriental con el Atlántico. Adicionalmente, la región Occidental del Mediterráneo también puede ser considerada zona de destino, donde destacan los puertos de Palma de Mallorca como principal *hub* y Málaga como puerto de transición más relevante.
- El segmento *contemporary*, al igual que el *budget*, ha sufrido un aumento del número de nodos y de conexiones durante el tiempo de estudio, lo que indica un crecimiento y desarrollo de este segmento en Europa. El Mediterráneo Occidental es la zona con mayor volumen de tráfico en este segmento. Los puertos más relevantes son Barcelona y Palma de Mallorca. Por otro lado, los puertos más importantes de la parte Oriental del Mediterráneo son Santorini, Miconos, El Pireo y Dubrovnik debido a dos razones: el elevado flujo de cruceros, y la falta de los datos para puertos importantes (Venecia). Por último, en el segmento *contemporary* también existen puertos de transición significativos:

- La Valletta, Nápoles y Civitavecchia hacen posible la conexión entre las dos zonas del Mediterráneo.
- Lisboa conecta el Atlántico y el Norte de Europa.
- Funchal realiza esta función para las regiones del Caribe y el Atlántico.
- Málaga y Gibraltar hacen lo propio para el Atlántico y el Mediterráneo Occidental.

Este segmento sigue siendo el principal del mercado europeo, pues el número medio de conexiones (trayectos) que efectúan los buques del *contemporary* durante el tiempo de estudio es de 450 aproximadamente y con tendencia positiva, más del doble que el caso del segmento *budget* (220). Además, el número de puertos medio durante el tiempo de estudio en los que atracan cruceros del segmento *contemporary* es mayor que para el *budget* (140 frente a 115).

- Las métricas globales del segmento *premium* señalan una tendencia neutra. Los puertos *hubs* más importantes son Lisboa, Southampton y Barcelona para las regiones Atlántica, del Norte de Europa, y Mediterráneo Occidental respectivamente. La zona oriental del Mediterráneo pierde relevancia en este tercer segmento. Por último, los puertos de transición ganan relevancia en este segmento debido a que la duración de los itinerarios es más larga y éstos son menos ajustados. Esto facilita la realización de trayectos más largos que visiten varias zonas europeas. Por último, puede parecer que el segmento *premium* tenga un mayor volumen de pasajeros, pues el número de conexiones medio en este segmento es de 550, sin embargo, la capacidad que tienen los cruceros del segmento *contemporary* es sustancialmente mayor que aquellos calificados como *premium*. No obstante, la cantidad de puertos donde escalan los cruceros del segmento *premium* sí es mayor, demostrando el mayor grado de exclusividad característico del segmento en cuestión.
- El bajo número de cruceros pertenecientes al segmento *upper premium* hace posible un análisis aún más exhaustivo y profundo de las tendencias y patrones de este mercado. En términos generales la densidad apenas varía. Las alteraciones que se dan en las otras métricas globales puede ser debido a que pequeños cambios producen variaciones considerables cuando se maneja un número de cruceros tan reducido. La zona más relevante es el Mediterráneo Occidental, siendo su puerto *hub* más significativo Barcelona, aunque en 2018 éste comienza a ser desplazado por Palma de Mallorca. Por otro lado, los grafos parecen mostrar cierto desarrollo en la red de puertos del Mediterráneo Oriental. Por último, la falta de datos en el Norte de Europa puede ser la causa de que esta región quede desvinculada del resto del mercado.
- El crecimiento del segmento de lujo se puede ver reflejado en el aumento del número de nodos y conexiones. Los itinerarios poco ajustados y menos repetitivos que los anteriores hacen que no se pueda destacar ningún puerto *hub*. Los puertos masificados pueden ser prescindibles en este segmento. Por otro lado, el Mediterráneo Oriental vuelve a tener una posición relevante, de hecho puede dividirse en dos, al igual que en el segmento *budget*. La zona del Mediterráneo Occidental ha ido ganando complejidad durante el tiempo de estudio debido al creciente entrecruzamiento que presenta. Por último, el Norte de Europa también aparece como una región relevante en la que destacan los puertos de Gotemburgo, Amsterdam y Southampton. Si para el segmento *premium* la mayor cantidad de puertos, en comparación con el *contemporary*, justificaba la mayor exclusividad de este primer segmento, para el lujo se puede observar esta misma tendencia de manera más acentuada. En este caso, y a pesar de tener un menor número medio de conexiones (450), la cantidad de puertos media es incluso mayor que en el caso del segmento *premium*.
- El segmento de expedición tiene destinos de perfil más aventurero como Sudamérica, Alaska y el Norte de Europa. Esto hace que este mercado apenas se haya desarrollado en Europa,

tal y como muestran los parámetros globales que apenas cambian en el tiempo, así como el número de conexiones medias que se realizan y cantidad de puertos en los que hacen escala los cruceros de este segmento (210 y 110 respectivamente). Las dos zonas del Mediterráneo poseen cierta importancia en este segmento debido a que son las generadoras de tráfico. Este papel de moderada importancia se puede ver reflejado en los grafos, pues estas dos zonas terminan el estudio sin conexiones directas, es decir, que no existen puertos del Mediterráneo Oriental que conecten con los del Occidental, ni viceversa. La conexión entre ambas zonas es indirecta ya que están conectadas por puertos atlánticos. El papel que juega la región atlántica en este caso es muy importante, pues conecta las zonas generadoras de tráfico (el Mediterráneo) con las de destino.

La actividad marítima de los buques de crucero genera un gran impacto medioambiental de carácter atmosférico debido a las emisiones de NO_x y SO_x procedentes de los gases de exhaustación generados en los motores que tienen instalados. Los organismos internacionales como la IMO imponen límites en la cantidad de gases emitidos cada vez más restrictivos. Las tecnologías disponibles dedicadas a reducir la cantidad de estos gases contaminantes son varias, aunque no todas pueden llegar a cumplir con dichas restricciones.

La aplicación de medidas primarias, como pequeñas modificaciones del motor no son suficientes como para que las emisiones se encuentren por debajo del límite establecido. El uso de sistemas auxiliares como *scrubbers* o plantas de reducción catalítica selectiva permiten reducir las emisiones de NO_x y SO_x respectivamente lo suficiente como para cumplir la normativa. Sin embargo, no se pueden utilizar simultáneamente, pues si el combustible posee una elevada cantidad de azufre el deterioro que va a sufrir el *scrubber* sería considerable. Por último, el uso de combustibles alternativos, como el GNL, también permiten una reducción suficiente de emisiones. Todas las anteriores opciones presentan ciertas ventajas y desventajas que el armador tiene que considerar. El uso de una solución u otra, dependerá de la casuística que envuelva a cada problema. No obstante, la opción menos dañina para el medio ambiente es el uso de GNL, pues disminuye el NO_x un 85 % y elimina casi por completo las emisiones de SO_x (reducción superior al 95 %) en comparación con el fueloil.

Los sistemas auxiliares serán más recomendables para cruceros ya construidos pues son las opciones más baratas. Sin embargo esta opción requiere de un coste adicional de mantenimiento, además del tratamiento de distintos residuos producidos por estos sistemas auxiliares. El uso de GNL está más enfocado a cruceros de nueva construcción debido a que un cambio de motores en un buque ya construido tendría un coste prohibitivo. La principal desventaja que tiene esta opción es el incremento del coste de combustible. El mayor porcentaje de los costes operativos de un barco está asociado a la compra y adquisición de combustible. Todo esto hace necesario la realización de un estudio económico más profundo que contemple las características de cada situación para obtener la solución óptima en cada caso.

Los objetivos del presente trabajo han sido principalmente dos: el análisis de las relaciones interportuarias que se dan en el mercado de cruceros europeo, y la estimación del impacto ambiental de los cruceros en el Mediterráneo Occidental. Las soluciones aportadas pueden parecer insuficientes pues se podría ahondar más aún en cada puerto individualmente, y observar qué posibles causas han sido las culpables de que un determinado puerto se encuentre en esa situación. Por otro lado, la pandemia producida por la COVID-19 ha perjudicado gravemente a la industria de crucero, por lo tanto, existe la posibilidad de que las tendencias registradas en este estudio se hayan visto afectadas. Esto último, da lugar a una futura línea de investigación que evalúe cómo se desarrollarán los cruceros con las restricciones derivadas de la mencionada pandemia.

La mayoría de trabajos en los que se analicen datos se dan, en mayor o menor medida, ciertos sesgos que favorecen a determinados grupo de datos. Este trabajo también muestra cierta dependencia de los datos, es decir, que evalúan más positivamente aquellos puertos para los que se tienen datos. Además, muchos de los datos han sido facilitados por puertos españoles por lo que el algoritmo otorga mayor relevancia a puertos españoles que a otros extranjeros (caso de Funchal y Canarias). No obstante, este sesgo podría reducirse aumentando el número de puertos que compartan los datos necesarios para este estudio, siendo esto último una de las principales futuras líneas de investigación del trabajo. El estudio de impacto ambiental llevado a cabo en todas las zonas europeas con actividad crucerista puede ser considerado como otra futura línea de investigación del estudio. Por último, destacar que la cantidad de datos, tendencias, información, patrones y resultados que se han extraído del trabajo es tan elevada que ahondar en el análisis de una o varias disciplinas sobre las que trata este trabajo podría considerarse como posible futura línea de investigación.

Por último, este trabajo intenta apoyar, en la medida de lo posible, uno de los objetivos de desarrollo sostenible propuestos por la ONU, concretamente el 13, y que consiste en la acción por el clima. Esto último, se constituye como una de las principales causas de este trabajo, querer ayudar a la creación de un mundo mejor.

Bibliografía

- [1] P. Wild and J. Dearing, “Development of and prospects for cruising in europe,” *Maritime Policy & Management*, vol. 27, no. 4, pp. 315–333, 2000.
- [2] CLIA. (2018) 2018 global passenger report. CLIA. CLIA. [Online]. Available: <https://cruising.org/news-and-research/research/2019/may/2018-global-passenger-report>
- [3] M. Grandjean, “Connected world: Untangling the air traffic network,” 2016.
- [4] M. Needham and A. E. Hodler, *Graph Algorithms: Practical Examples in Apache Spark and Neo4j*. O’Reilly Media, 2019.
- [5] D. Woodyard, *Pounder’s marine diesel engines and gas turbines*. Butterworth-Heinemann, 2009.
- [6] V. Eyring, H. Köhler, J. Van Aardenne, and A. Lauer, “Emissions from international shipping: 1. the last 50 years,” *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, vol. 110, no. D17, 2005.
- [7] T. Tech. (2015, Oct.) What is selective catalytic reduction ? Tomorrows Techs Newsletter. Tomorrows Techs. [Online]. Available: <https://www.tomorrowstechnician.com/what-is-selective-catalytic-reduction/>
- [8] DNV-GL. (2018, Oct.) Scrubbers at a glance. DNV-GL. [Online]. Available: <https://www.dnvgl.com/expert-story/maritime-impact/Scrubbers-at-a-glance.html>
- [9] A. P. de Gibraltar. (2020, Apr.) Estadísticas de escalas de buques de crucero. Autoridad Portuaria de Gibraltar,. [Online]. Available: <https://www.gibraltarport.com/schedules>
- [10] A. P. de Livorno. (2020, Apr.) Estadísticas de escalas de buques de crucero. Autoridad Portuaria de Livorno. [Online]. Available: <http://www.portolivorno2000.it/en>
- [11] C. León, “Authority centrality and hub centrality as metrics of systemic importance of financial market infrastructures,” *Available at SSRN 2290271*, 2013.
- [12] C.-h. Han, “Strategies to reduce air pollution in shipping industry,” *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, vol. 26, no. 1, pp. 7–29, 2010.
- [13] J.-P. Jalkanen, A. Brink, J. Kalli, H. Pettersson, J. Kukkonen, and T. Stipa, “A modelling system for the exhaust emissions of marine traffic and its application in the baltic sea area.” *Atmospheric Chemistry & Physics*, vol. 9, no. 23, 2009.
- [14] IMO. (2020) Marpol. IMO. IMO. [Online]. Available: [http://www.imo.org/es/About/Conventions/ListOfConventions/Paginas/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](http://www.imo.org/es/About/Conventions/ListOfConventions/Paginas/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx)

- [15] ——. (2020) Marpol: Zonas eca. IMO. IMO. [Online]. Available: <http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/SpecialAreasUnderMARPOL/Paginas/Default.aspx>
- [16] M. GRACE, “A brief history of the cruise ship industry,” *June*, vol. 17, p. 2008, 2008. [Online]. Available: <https://www.cruiselinehistory.com/a-brief-history-of-the-cruise-ship-industry/>
- [17] J.-P. Rodrigue and T. Notteboom, “The geography of cruises: Itineraries, not destinations,” *Applied Geography*, vol. 38, pp. 31–42, 2013.
- [18] CLIA. (2019) 2019 state of the industry. CLIA. [Online]. Available: <https://cruising.org/news-and-research/research/2018/december/2019-state-of-the-industry>
- [19] M. B. Lekakou, A. A. Pallis, and G. K. Vaggelas, “Which homeport in europe: The cruise industry?s selection criteria,” *Tourismos: An international multidisciplinary journal of tourism*, vol. 4, no. 4, pp. 215–240, 2009.
- [20] Y. Wang, K.-A. Jung, G.-T. Yeo, and C.-C. Chou, “Selecting a cruise port of call location using the fuzzy-ahp method: A case study in east asia,” *Tourism Management*, vol. 42, pp. 262–270, 2014.
- [21] G. Chase and I. Alon, “Evaluating the economic impact of cruise tourism: a case study of barbados,” *Anatolia*, vol. 13, no. 1, pp. 5–18, 2002.
- [22] M. T. Tran, A. S. Jeeva, and Z. Pourabedin, “Social network analysis in tourism services distribution channels,” *Tourism Management Perspectives*, vol. 18, pp. 59–67, 2016.
- [23] C. Ducruet and T. Notteboom, “The worldwide maritime network of container shipping: spatial structure and regional dynamics,” *Global networks*, vol. 12, no. 3, pp. 395–423, 2012.
- [24] J.-W. Jeon, O. Duru, and G.-T. Yeo, “Cruise port centrality and spatial patterns of cruise shipping in the asian market,” *Maritime Policy & Management*, vol. 46, no. 3, pp. 257–276, 2019.
- [25] OMT, *Turismo de Cruceros- Situación Actual y Tendencias*. Organización Mundial del Turismo, 2008.
- [26] E. P. J. G. S. Antonio, *La industria de cruceros: características, agentes y sus funciones*, ser. Economía del transporte, F. VALENCIAPORT, Ed., 2014.
- [27] S. Soriani, S. Bertazzon, F. D. Cesare, and G. Rech, “Cruising in the mediterranean: structural aspects and evolutionary trends,” *Maritime Policy & Management*, vol. 36, no. 3, pp. 235–251, 2009.
- [28] CLIA. (2018) The global economic contribution of cruise tourism 2018. CLIA. CLIA. [Online]. Available: <https://cruising.org/es-es/noticias-e-investigación/investigación/2019/december/la-contribución-de-la-industria-internacional-de-cruceros-a-la-economía-mundial-en-2018>
- [29] J. McCarthy, “The cruise industry and port city regeneration: The case of valletta,” *European Planning Studies*, vol. 11, no. 3, pp. 341–350, 2003.
- [30] J. A. E. Pérez, A. G. Sánchez, and A. M. Paupie, “Perfiles de estacionalidad del tráfico de cruceros en regiones europeas como condicionante operativo para navieras y puertos,” *Ingeniería naval*, no. 972, pp. 83–96, 2018.

- [31] C. Europea. (2009) Tourist facilities in ports: Growth opportunities for the european maritime economy: economic and environmentally sustainable development of tourist facilities in ports.
- [32] BREA, "The contribution oof the north american cruise induustry to the u.s. economy in 2004," in *International Council of Cruise Lines (ICCL)*. Bussines Research and Economic Advisor (BREA), 2005.
- [33] L. de la Vina and J. Ford, "Economic impact of proposed cruiseship business," *Annals of Tourism Research*, vol. 1, no. 26, pp. 204–207, 1999.
- [34] T. Peisley, "Cruising—a global view of the challenge and the opportunity," *International Association Cities and Ports Days. Le Port, La Reunion*, pp. 19–22, 2003.
- [35] J. G. Brida and S. Zapata, "Cruise tourism: economic, socio-cultural and environmental impacts," *International Journal of Leisure and Tourism Marketing*, vol. 1, no. 3, pp. 205–226, 2010.
- [36] V. Asero and S. Skonieczny, "Cruise tourism and sustainability in the mediterranean. destination venice," *Mobilities, Tourism and Travel Behavior?Contexts and Boundaries; InTechOpen limited: London, UK*, pp. 93–106, 2018.
- [37] A. T. González, "Venecia: el problema del.ºvertourismz el impacto de los cruceros," *Investigaciones Regionales= Journal of Regional Research*, no. 42, pp. 35–51, 2018.
- [38] N. Butt, "The impact of cruise ship generated waste on home ports and ports of call: A study of southampton," *Marine Policy*, vol. 31, no. 5, pp. 591–598, 2007.
- [39] E. Tzannatos, "Ship emissions and their externalities for the port of piraeus–greece," *Atmospheric Environment*, vol. 44, no. 3, pp. 400–407, 2010.
- [40] J. Esteve-Perez and A. Garcia-Sanchez, "Dynamism patterns of western mediterranean cruise ports and the coopetition relationships between major cruise ports," *Polish maritime research*, vol. 25, no. 1, pp. 51–60, 2018.
- [41] N. Zhang, R. Miao, H. Huang, and E. Y. Chan, "Contact infection of infectious disease onboard a cruise ship," *Scientific reports*, vol. 6, p. 38790, 2016.
- [42] J. Esteve-Perez, A. Garcia-Sanchez, and A. Muñoz-Paupie, "Cruise traffic seasonality patterns in the western mediterranean and the adriatic sea: A challenge to port operators," *Coastal Management*, vol. 47, no. 4, pp. 362–386, 2019.
- [43] Y. Wang and K. Cullinane, "Determinants of port centrality in maritime container transportation," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 95, pp. 326–340, 2016.
- [44] C. Ducruet, "Network diversity and maritime flows," *Journal of Transport Geography*, vol. 30, pp. 77–88, 2013.
- [45] IMO. (1972) Convention on the prevention of marine pollution by dumping of wastes and other matter. IMO. [Online]. Available: <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/LCLP/Pages/default.aspx>
- [46] ONU. (1992, Jun.) United nations conference on enviroment & development. ONU. Agenda 21. [Online]. Available: <https://sustainabledevelopment.un.org/outcomedocuments/agenda21>
- [47] I. WTTC and I. IH&RA, "Industry as a partner for sustainable development: Tourism," 2002.

- [48] OCEANA. (2004, Jun.) Contamination by cruise ships. Oceana reports. OCEANA. [Online]. Available: <https://oceana.org/reports/contamination-cruise-ships>
- [49] J. Corbett, J. Winebrake, and P. K. eH GREEN, “V. eyring, and a. lauer (2007), mortality from ship emissions: A global assessment,” *Environ. Sci. Technol.*, vol. 41.
- [50] J. J. Corbett, P. S. Fischbeck, and S. N. Pandis, “Global nitrogen and sulfur inventories for oceangoing ships,” *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, vol. 104, no. D3, pp. 3457–3470, 1999.
- [51] S. B. Dalsøren, Ø. Endresen, I. S. Isaksen, G. Gravir, and E. Sjørgård, “Environmental impacts of the expected increase in sea transportation, with a particular focus on oil and gas scenarios for norway and northwest russia,” *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, vol. 112, no. D2, 2007.
- [52] C. Wang, J. J. Corbett, and J. Firestone, “Modeling energy use and emissions from north american shipping: application of the ship traffic, energy, and environment model,” *Environmental science & technology*, vol. 41, no. 9, pp. 3226–3232, 2007.
- [53] D.-q. Yang, S. H. Kwan, T. Lu, Q.-y. Fu, J.-m. Cheng, D. G. Streets, Y.-m. Wu, and J.-j. Li, “An emission inventory of marine vessels in shanghai in 2003,” *Environmental science & technology*, vol. 41, no. 15, pp. 5183–5190, 2007.
- [54] J. Isakson, T. Persson, and E. S. Lindgren, “Identification and assessment of ship emissions and their effects in the harbour of göteborg, sweden,” *Atmospheric Environment*, vol. 35, no. 21, pp. 3659–3666, 2001.
- [55] L. Euler, “Solutio problematis ad geometriam situs pertinentis,” *Commentarii academiae scientiarum Petropolitanae*, pp. 128–140, 1741.
- [56] P. Fleurquin, J. J. Ramasco, and V. M. Eguiluz, “Systemic delay propagation in the us airport network,” *Scientific reports*, vol. 3, p. 1159, 2013.
- [57] Y. Kim, T. Y. Choi, T. Yan, and K. Dooley, “Structural investigation of supply networks: A social network analysis approach,” *Journal of Operations Management*, vol. 29, no. 3, pp. 194–211, 2011.
- [58] K. Ravi, J. Novak, and A. Tomkins, “Structure and evolution of online social networks,” in *Proceedings of the 11th ACM International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 2006, p. 611617.
- [59] L. M. Koehly, S. K. Peterson, B. G. Watts, K. K. Kempf, S. W. Vernon, and E. R. Gritz, “A social network analysis of communication about hereditary nonpolyposis colorectal cancer genetic testing and family functioning,” *Cancer Epidemiology and Prevention Biomarkers*, vol. 12, no. 4, pp. 304–313, 2003.
- [60] A. S. Klov Dahl, “Social networks and the spread of infectious diseases: the aids example,” *Social science & medicine*, vol. 21, no. 11, pp. 1203–1216, 1985.
- [61] S. P. Borgatti and X. Li, “On social network analysis in a supply chain context,” *Journal of Supply Chain Management*, vol. 45, no. 2, pp. 5–22, 2009.
- [62] L. C. Freeman, “Centrality in social networks conceptual clarification,” *Social networks*, vol. 1, no. 3, pp. 215–239, 1978.

- [63] J. Scott, "Social network analysis: A handbook. 2nd edn sage publications," 2000.
- [64] K. G. Provan and H. B. Milward, "A preliminary theory of interorganizational network effectiveness: A comparative study of four community mental health systems," *Administrative science quarterly*, pp. 1–33, 1995.
- [65] K. Frenken, "A complexity approach to innovation networks. the case of the aircraft industry (1909–1997)," *Research Policy*, vol. 29, no. 2, pp. 257–272, 2000.
- [66] B. Lin and C.-Y. Lin, "Compliance with international emission regulations: Reducing the air pollution from merchant vessels," *Marine Policy*, vol. 30, no. 3, pp. 220–225, 2006.
- [67] D. R. R. Plan, "Appendix iv fuels report: Appendix to the diesel risk reduction plan," 2000.
- [68] H. G. José, "Combustibles marinos derivados del petróleo y cambios por marpol 2020." Jan. 2020, tecnología de motores e instalaciones térmicas (Asignatura optativa del Máster universitario en ingeniería naval y oceánica) UPCT.
- [69] M. Lamas and C. Rodriguez, "Emissions from marine engines and nox reduction methods," *Journal of Maritime Research*, vol. 9, no. 1, pp. 77–81, 2012.
- [70] S. Okada, S. Hamaoka, S. Akimoto, S. Masakawa, K. Takeshita, M. Seki, S. Yoshikawa, and T. Yonezawa, "The development of very low fuel consumption medium speed diesel engine," in *Proceedings of the 23rd CIMAC Congress*, 2001.
- [71] A. Al-Sened and E. Karimi, "Strategies for nox reduction in heavy duty engines," in *Proceedings of the 23rd CIMAC Congress*, 2001.
- [72] R. Holtbecker and M. Geist, "Emissions technology, sulzer rta series, exhaust emissions reduction technology for sulzer marine diesel engines," *Wartsila NSD*, 1998.
- [73] F. Millo, M. G. Bernardi, and D. Delneri, "Computational analysis of internal and external egr strategies combined with miller cycle concept for a two stage turbocharged medium speed marine diesel engine," *SAE International Journal of Engines*, vol. 4, no. 1, pp. 1319–1330, 2011.
- [74] M. B&W, "Emission control of two-stroke low-speed diesel engines," *MAN B&W Technical Paper*, 1997.
- [75] N. Wärtsilä, "Sulzer rt-flex60c technology review," *Wärtsilä NSD*, 2002.
- [76] M. team. (2018, Nov.) Majority of wet scrubber systems have 3 basic components. MFAME Newsletter. MFAME (For Marine Fuels & Marine Engine Users). [Online]. Available: <https://mfame.guru/wp-content/uploads/2018/11/exhaust-gas.jpg>
- [77] P. de Ámsterdam. (2020, Apr.) Calendario de cruceros. Puerto de Ámsterdam. Calendario de cruceros. [Online]. Available: <https://www.ptamsterdam.com/cruise-calender/>
- [78] A. P. de Las Palmas de Gran Canaria. (2020, Apr.) Estadísticas de escalas de buques de crucero. Autoridad Portuaria de Las Palmas de Gran Canaria. [Online]. Available: <http://www.palmasport.es/es/datos-estadisticos-buques/>
- [79] A. P. de Barcelona. (2020, Apr.) Estadísticas de escalas de buques de crucero. Autoridad Portuaria de Barcelona. [Online]. Available: <http://www.portdebarcelona.cat/es/web/port-dels-negocis/cruceros1>

- [80] A. P. de Bari. (2020, Apr.) Calendario de cruceros. Autoridad Portuaria de Bari. [Online]. Available: <https://www.adspmam.it/category/crociere/>
- [81] A. P. de la Bahía de Cádiz. (2020, Apr.) Estadísticas de escalas de buques de crucero. Autoridad Portuaria de la Bahía de Cádiz. [Online]. Available: <https://www.puertocadiz.com/el-puerto/instalaciones-para-trafficos-especificos/cruceros-y-traffic-de-pasajeros/#opc01>
- [82] G. C. P. Cluster. (2020, Apr.) Estadísticas de escalas de buques de crucero. Greek Cruise Ports Cluster. [Online]. Available: <http://www.greekcruise.gr>
- [83] A. P. de Dubrovnik. (2020, Mar.) Estadísticas de escalas de buques de crucero. Autoridad Portuaria de Dubrovnik. [Online]. Available: <http://195.29.106.30/>
- [84] P. da Madeira. (2020, Mar.) Movimientos de buques en el puerto de funchal. Portos da Madeira. [Online]. Available: <http://www.apram.pt/site/index.php/en/ports/wharf-reservations>
- [85] P. de Gotemburgo. (2020, Apr.) Estadísticas de escalas de buques de crucero. Puerto de Gotemburgo,. [Online]. Available: <https://www.portofgothenburg.com/cruise-and-visits/>
- [86] A. P. de Islas Baleares. (2020, Apr.) Estadísticas de escalas de buques de crucero. Autoridad Portuaria de Islas Baleares. [Online]. Available: <http://www.portsdebalears.com/es/buques-en-puerto>,
- [87] A. P. de Lisboa. (2020, Apr.) Estadísticas de escalas de buques de crucero. Autoridad Portuaria de Lisboa. [Online]. Available: http://www.portodelisboa.pt/portal/page/portal/PORTAL_PORTO_LISBOA_ING/CRUZEIROS/PREVISAO_NAVIOS_CRUZEIRO
- [88] A. P. de Málaga. (2020, Apr.) Estadísticas de escalas de buques de crucero. Autoridad Portuaria de Málaga. [Online]. Available: <https://www.puertomalaga.com/es/prevision-cruceros/>
- [89] A. P. de Valencia. (2020, Apr.) Estadísticas de escalas de buques de crucero. Autoridad Portuaria de Valencia. [Online]. Available: <https://www.valenciaportpcs.net/portcalls/search/historic>
- [90] J. Notebook. (2020) Jupyter notebook. Jupyter Notebook. [Online]. Available: <https://jupyter.org>
- [91] Python. (2020) Python. Python. [Online]. Available: <https://www.python.org>
- [92] Google. (2020) Google colab. Google. [Online]. Available: <https://colab.research.google.com/notebooks/intro.ipynb>
- [93] J. M. Kleinberg, “Authoritative sources in a hyperlinked environment,” *Journal of the ACM (JACM)*, vol. 46, no. 5, pp. 604–632, 1999.
- [94] M. Simonsen, H. J. Walnum, and S. Gössling, “Model for estimation of fuel consumption of cruise ships,” *Energies*, vol. 11, no. 5, p. 1059, 2018.
- [95] K. Lavender *et al.*, “marine exhaust emissions quantification study: Mediterranean sea,” 1999.
- [96] (2020) Wikipedia. Wikipedia.org. [Online]. Available: <https://www.wikipedia.org>
- [97] V. F. Organization. (2020) Vesselfinder. [Online]. Available: <https://www.vesselfinder.com>

- [98] G. de investigación del transporte marítimo de la Fundación Universidad de Oviedo. (2008) Energy consumption and emissions associated transportation by ship. Monografías Enertrans. [Online]. Available: https://www.tecnica-vialibre.es/documentos/Libros/15-EnerTrans_Consumos_barco.pdf
- [99] MedCruise. (2019) Cruise activities in medcruise ports. MedCruise. MedCruise. [Online]. Available: <https://www.medcruise.com/2019-statistics-cruise-activities-in-medcruise-ports>
- [100] Ship and Bunkers. (2021, Mar.) Average bunker prices. Ship and Bunkers Web. Ship and Bunkers. [Online]. Available: <https://shipandbunker.com/prices/av>
- [101] IMO. (2019) Azufre 2020: reduciendo las emisiones de óxidos de azufre. IMO. [Online]. Available: <https://www.imo.org/es/MediaCentre/HotTopics/Paginas/Sulphur-2020.aspx>

